



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**MANEJO NUTRIMENTAL DEL CAFÉ BAJO SOMBRA Y  
CALIDAD SENSORIAL EN COATEPEC, VERACRUZ**

**TESIS**

Que como requisito parcial para obtener el grado de  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

Presenta:

**AMADOR ATLAHUA LUISA**



DIRECCION GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**Bajo la supervisión de: DR. Ranferi Maldonado Torres**



**Chapingo, Estado de México. Febrero 2019.**

**MANEJO NUTRIMENTAL DEL CAFÉ BAJO SOMBRA Y CALIDAD  
SENSORIAL EN COATEPEC, VERACRUZ**

Tesis realizada por **Amador Atlahua Luisa** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO  
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



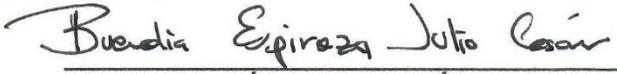
DR. RANFERI MALDONADO TORRES

ASESOR:



DRA. MARÍA ELENA ÁLVAREZ SÁNCHEZ

ASESOR:



DR. JULIO CÉSAR BUENDÍA ESPINOZA

## I. CONTENIDO

II. ÍNDICE DE CUADROS .....	vi
III. ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
IV. ABREVIATURAS USADAS .....	viii
V. DEDICATORIAS.....	ix
VI. AGRADECIMIENTOS .....	x
VII. DATOS BIOGRÁFICOS .....	xi
VIII. RESUMEN GENERAL .....	xii
IX. GENERAL ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. OBJETIVOS .....	4
1.1.1 Objetivo general.....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Nutrición del cultivo.....	5
2.1.1 Condiciones de la fertilidad del suelo para su crecimiento .....	5
2.1.2 Concentraciones nutrimentales foliares óptimas en el cultivo del café	6
2.1.3 Desviación del óptimo porcentual .....	8
2.1.4 Índice de balance Kenworthy.....	9
2.2 Manejo tradicional de la nutrición del cafeto.....	10
2.2.1 Deficiencias nutrimentales del café .....	10
2.2.2 Nitrógeno .....	11

2.2.3 Fósforo.....	11
2.2.4 Potasio.....	11
2.2.5 Magnesio .....	12
2.2.6 Calcio.....	12
2.2.7 Boro .....	12
2.2.8 Zinc.....	13
2.2.9 Hierro .....	13
2.2.10 Azufre .....	13
2.2.11 Manganeso .....	14
2.3 Calidad sensorial del café.....	14
2.3.1 Atributos físicos .....	14
2.3.2 Atributos organolépticos .....	18
2.5 Fertilización y calidad del café.....	22
2.6. Literatura citada.....	25
<b>3. DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DEL CAFÉ BAJO SOMBRA EN COATEPEC, VERACRUZ.....</b>	<b>28</b>
3.1 Resumen .....	28
3.2 Abstract .....	29
3.3 Introducción .....	30
3.4 Materiales y Métodos.....	32
3.4.1. Localización de la Finca.....	32
3.4.2 Caracterización agroclimática de la finca.....	32
3.4.3. Muestreo de suelos y foliar .....	33

3.4.5 Aplicación de dosis nutrimental .....	35
3.4.4 Análisis de datos.....	36
3.4.6. Colecta y beneficiado de muestras de Café .....	37
3.5 Resultados y discusión .....	38
3.5.1 Diagnostico nutrimental del suelo .....	38
3.5.2 Diagnóstico foliar por índices de balance Kenworthy.....	40
3.5.3 Diagnóstico foliar por índices Desviación óptima porcentual DOP ...	41
3.5.4 Evaluación de las variables respuesta.....	43
3.6 Conclusiones .....	45
3.7 Literatura citada .....	46
3.8 Anexos.....	49
4. CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ ARÁBIGO EN COATEPEC, VERACRUZ .....	53
4.1 Resumen .....	53
4.2 Abstract .....	54
4.3 Introducción .....	55
4.4 Materiales y Métodos.....	58
4.4.1 Procedencia de muestras .....	58
4.4.2 Análisis físico de las muestras de café verde .....	58
4.4.3 Análisis organoléptico .....	61
4.4.4Análisis de datos.....	63
4.5 Resultados y discusión .....	64
4.5.1 Análisis físico del café verde .....	64

4.5.2 Calidad sensorial del café.....	70
4.5.2.1 Regresión con componentes principales .....	75
4.5.2.2 Regresión lineal múltiple.....	77
4.4.2.1 Descriptores aromáticos .....	78
4.6. Conclusiones .....	80
4.7 Literatura citada .....	82

## II. ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Valores del contenido nutrimental en hojas de café.....	7
Cuadro 2. Niveles Foliareos en hojas de café. ....	7
Cuadro 3. Métodos para el análisis químico de suelos.....	34
Cuadro 4. Métodos para el análisis foliar del cafeto. ....	35
Cuadro 5. Concentración e interpretación del análisis de suelo. ....	38
Cuadro 6. Índices Kenworthy y orden de requerimiento nutrimental de variedades de café. ....	40
Cuadro 7. Índices DOP y requerimientos nutrimentales de variedades Typica y Mundo Novo.....	41
Cuadro 8. Prueba t-Student para las variables evaluadas.....	43
Cuadro 9. Variables evaluadas en plantas de café variedad Mundo Novo.....	49
Cuadro 10. Variables evaluadas en plantas de café variedad Typica.....	49
Cuadro 11. Dimensiones de tamices para clasificar el café verde por tamaño. ....	59
Cuadro 12. Promedios de la granulometría del café verde de Typica y Mundo Novo. ....	66
Cuadro 13. Promedios para la clasificación de forma de grano.....	69
Cuadro 14. Varianza explicada por los componentes.....	71
Cuadro 15. Varianza de los componentes principales. ....	72
Cuadro 16. Autovectores de los componentes principales. ....	72
Cuadro 17. Análisis de varianza de la regresión por componentes principales. ....	76
Cuadro 18. Regresión múltiple de las variables de calidad del café.....	77
Cuadro 19. Notas aromáticas del café en taza. ....	79

### III. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rueda de sabores de la bebida de café. ....	19
Figura 2. Rueda de defectos y fallas del café. ....	20
Figura 3. Ubicación del predio de estudio.....	32
Figura 4. Colocación de fertilizante a los cafetos.....	36
Figura 5. Colecta de muestras de frutos de café. ....	37
Figura 6. Determinación de peso, volumen y número de frutos.....	37
Figura 7. Tamizado de muestras de café en zarandas .....	58
Figura 8. Clasificación de formas de grano del café verde. ....	59
Figura 9. Selección de defectos del café verde. ....	60
Figura 10. Analizador halógeno de humedad. ....	60
Figura 11. Tostador y molino de café.....	61
Figura 12. Proceso de catación de muestras de café.....	62
Figura 13. Determinación de atributos sensoriales de la bebida de café.....	62
Figura 14. Componentes principales de los atributos sensoriales del café.....	73
Figura 15. Representación gráfica de correlaciones de los atributos organolépticos.....	75

#### **IV. ABREVIATURAS USADAS**

Nitrógeno	N
Potasio	K
Fósforo	P
Azufre	S
Magnesio	Mg
Calcio	Ca
Hierro	Fe
Manganeso	Mn
Cobre	Cu
Zinc	Zn
Boro	B
Aluminio	Al
Cloro	Cl
Capacidad de intercambio catiónico	CIC
Desviación óptima porcentual	DOP
Norma Oficial Mexicana	NOM
Asociación de cafés Especiales de América	SCAA

## **V. DEDICATORIAS**

*A mi padre y a mi tía, hasta el cielo.*

*A mis madres, Paulina y Mónica, por todo el amor y apoyo.*

*A mis hermanos, por su apoyo y quienes siempre están para compartir todo en esta vida.*

*A mis sobrinos.*

*A Erasmo, por toda la comprensión, amor y apoyo. Por ser un extraordinario compañero de vida.*

## **VI. AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por las becas otorgadas para la realización de los estudios de Maestría.

Al Dr. Ranferi Maldonado Torres, por su valiosa experiencia compartida, dirección y apoyo para la realización de la tesis. Por la confianza y amistad.

A la Coordinación de la Maestría en Agroforestería dirigida por la Dra. María Edna Álvarez Sánchez por todo el apoyo como coordinadora y asesora de este trabajo, consejos y amistad brindada.

Al Dr. Julio César Buendía Espinoza por sus aportes a este trabajo y su confianza.

Al Dr. Victorino Morales Ramos por sus contribuciones a este trabajo y por las facilidades para la realización de la estancia de investigación.

Al Dr. Eduardo y a su equipo de trabajo, por el apoyo para realizar este estudio en su finca.

A Dolores Coronel, por su amistad y apoyo en todo momento.

A los colegas de la maestría con quienes coincidí durante esta etapa, por los ánimos, apoyo y amistad brindada.

## **VII. DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre	Luisa Amador Atlahua
Fecha de nacimiento	10 de septiembre 1985
Lugar de nacimiento	Zongolica, Veracruz
CURP	AAAL850910MVZMTS06
Profesión	Ingeniero en Desarrollo Comunitario
Cédula profesional	8022189

### **Desarrollo académico**

Bachillerato	Telebachillerato 540, Zongolica, Veracruz
Licenciatura	Ingeniero en Desarrollo Comunitario, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica

## VIII. RESUMEN GENERAL

### MANEJO NUTRIMENTAL DEL CAFÉ BAJO SOMBRA Y CALIDAD SENSORIAL EN COATEPEC, VERACRUZ<sup>1</sup>

El estudio se realizó en Coatepec, Ver., en una plantación de café bajo sombra, con el objetivo de diagnosticar el estado nutricional de dos variedades de café arábigo, Typica y Mundo Novo, para proponer un manejo nutrimental óptimo de las plantaciones que mejore la producción y la calidad física del grano y sensorial en taza. El análisis de suelos mostró pH ácido, deficiencias de P, Mn y Ca, éste último en desbalance con K. En cuanto al índice de balance Kenworthy, de acuerdo con el orden de requerimiento nutrimental, la variedad Typica demanda mayor cantidad de N seguido del Fe y Mn; en tanto que Mundo Novo N y Mn. Los índices DOP coinciden en la deficiencia de N y Mn en ambas variedades, sin embargo, los otros elementos se clasificaron diferente. No hubo diferencias estadísticas significativas ( $\alpha = 0.05$ ) para Typica y Mundo Novo en las variables peso, volumen y número de frutos de las muestras en café cereza. El análisis de componentes principales para los atributos sensoriales determinó solo dos componentes que reúnen el 73.67 % de variabilidad, el primero se explica por sabor, sabor residual, acidez, y apreciación global con un porcentaje del 43 %. En el segundo componente por cuerpo y balance con 26 %. No hubo diferencias significativas en relación con la calidad física del grano y en taza. Ambas variedades obtuvieron puntajes de 80 puntos y se consideran cafés de muy buena calidad.

**Palabras clave:** Typica, Mundo Novo, calidad sensorial del café.

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Luisa Amador Atlahua.

Director de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

## IX. GENERAL ABSTRACT

### NUTRITIONAL MANAGEMENT OF UNDER SHADING COFFEE AND CUP QUALITY IN COATEPEC, VERACRUZ<sup>2</sup>

The study was carried out in Coatepec, Ver. In a coffee plantation under shade with the objective of diagnosing the nutritional status of two varieties of arabica coffee, Typica and Mundo Novo to recommend an optimal nutritional management of the plantations that improves the production and the physical quality of the beans and sensorial in cup. The soil analysis showed acid pH, P, Mn and Ca deficiencies, the latter in unbalance with K. Regarding the Kenworthy balance index, in accordance with the order of nutrient requirement, the Typica variety demands a greater quantity of N followed by Fe and Mn; while for Mundo Novo N and Mn. The DOP indices coincide in the deficiency of N and Mn in both varieties, however, the other elements were differently classified. There were no significant statistical differences ( $\alpha = 0.05$ ) for Typica and Mundo Novo in the variables weight, volume and number of fruits of the samples in cherry coffee. The analysis of principal components for sensory attributes determined only two components that accumulate 73.67% of variability, the first is explained by tasting, residual tasting, acidity, and overall appreciation with a percentage of 43%. In the second component by body and balance with 26%. There were no significant differences in relation to the physical quality of the beans and in cup. Both varieties obtained scores of 80 points and are considered as very good quality coffees.

**Key words:** Typica, Mundo Novo, sensory quality of Coffee.

---

<sup>2</sup> Thesis Master's Degree in Agroforestry for Sustainable Development, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Luisa Amador Atlahua

Thesis advisor: Dr. Ranferi Maldonado Torres

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existen alrededor de 60 regiones productoras de café con diferencias ambientales, técnicas, económicas, sociales y culturales. La crisis que afecta a la cafecultura, si bien depende del precio del grano en el mercado internacional, su impacto y generación de alternativas adquieren particularidades por regiones y zonas (Escamilla et al., 1994).

Durante años se ha motivado a los productores a obtener altos rendimientos en los cafetales sin valorar la calidad sensorial en taza, la cual, es una característica muy importante para agregar valor al café de las regiones productoras.

El café arábigo se cultiva principalmente en las zonas altas y requiere sombra permanente para un buen desarrollo de frutos que garanticen la calidad física y en consecuencia cualidades organolépticas deseables. De acuerdo con Muschler (2006) la sombra produce cambios en el microclima, lo cual altera la productividad y calidad del café. Los principales beneficios determinados en estas condiciones son un mayor peso de la cereza, mayor tamaño, acidez y cuerpo.

El mismo autor menciona que las especies arbóreas influyen en la conservación de los suelos, el agua y la biodiversidad. Este efecto tiende a ser más pronunciado en condiciones subóptimas donde las plantas de café están estresadas. Dado que la mayoría de las áreas de café en el mundo están sujetas a una restricción biofísica, es probable que los beneficios de la sombra sean relevantes para mejorar la mayoría de los sistemas de café (Muschler, 2004).

En este sistema de producción la nutrición del cultivo es uno de los factores más importantes para mejorar la productividad y la calidad del café. Sin embargo, en la mayoría de las fincas cafetaleras no se realizan análisis de suelo y foliares que determinen la condición nutrimental del cultivo. El INMECAFE recomendó la aplicación de fórmulas, como la 18-12-00, 18-00-12 y 18-12-06. Es evidente que estas fórmulas no atienden los requerimientos nutricionales de los cafetos por tipo de suelo y por etapa de desarrollo, además solo se sugiere aplicar la mitad

del producto al principio del ciclo de producción (Santoyo, Díaz & Rodríguez, 1994). Por lo tanto, en la mayoría de las fincas no existe un control de la nutrición, los productores que tienen cafetales con bajos rendimientos utilizan fórmulas que se recomiendan en las casas de agroquímicos o las que emplean desde tiempo atrás sin conocer cuáles son los nutrientes que requieren las plantaciones.

La utilización de análisis foliares y de suelos son una herramienta que sirve de base en el proceso de nutrición del cultivo y que garantiza un ajuste del balance nutrimental con la finalidad de promover la productividad y la calidad del café. Un balance de N, P, K, Mg, S y de los microelementos Zn, Cu, Fe, B y Mo es necesario para obtener semillas de calidad (Njoroge, 1998).

En México son pocos los estudios realizados de la calidad del café asociada a la fertilidad del suelo. Pérez, Partida y Martínez (2005) caracterizaron los suelos y perfiles de sabor en Veracruz e indicaron que no hubo efectos de las variedades evaluadas y el tipo de suelo sobre la intensidad de los atributos, tampoco se encontró correlación significativa entre las características químicas del suelo y los atributos del café. Mientras que en Colombia se encontraron relaciones positivas entre K, Na y Al con el atributo fragancia /aroma; sin embargo, niveles bajos de Ca se correlacionaron negativamente con acidez en taza (Suárez, Rodríguez & Duran 2015). Resultados similares a estos fueron sugeridos por Rosas et al. (2008) entre el nivel de Ca y fragancia/ aroma, lo que indica que el bajo contenido de Ca en el suelo afecta la calidad del grano de café.

Santoyo, Díaz, Escamilla y Robledo (1996) indicaron que concentraciones de potasio superiores a 1.75% en el grano, disminuyen sensiblemente la calidad en taza debido a una mala apariencia por coloración deficiente; mientras que concentraciones de calcio mayores a 0.11% en el grano reducen la calidad en taza (Wintgens, 2004). El contenido mineral puede variar y es más alto en café robusta que en el arábica y también difiere en semillas procesadas por beneficio seco o proceso húmedo. Aunque las composiciones minerales son distintivas del origen del suelo y las condiciones ambientales del cultivo se considera un 4 % de

contenido mineral como indicador de la autenticidad del café (Wei & Tanokura, 2015).

Con base en estudios de manejo y nutrición de cafetos realizados en otros países sobre las variedades de café es como han podido elevar la producción de las plantaciones y han destacado en cafés de calidad, por tanto, en México es preciso realizar estudios encaminados a este fin para desarrollar mejores condiciones productivas que vayan aclarando el comportamiento del cultivo bajo condiciones locales.

Con la tendencia actual de intensificar el cultivo de café robusta a pleno sol, es importante conservar los cafetales bajo sombra donde las variedades de porte alto como Typica y Mundo Novo que han sido severamente afectadas por la roya (*Hemileia vastatrix*, Berk. y Br.) por su alta susceptibilidad al hongo, están siendo desplazadas por otras variedades que tienen tolerancia a la enfermedad como Costa Rica 95 y Colombia. En un futuro las variedades tradicionales podrían no cultivarse más, lo que conllevará a la pérdida de material valioso. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la nutrición sobre la productividad y calidad física y sensorial de las variedades de café Typica y Mundo Novo cultivadas en Coatepec, Veracruz.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la nutrición sobre la productividad y calidad física y sensorial de *Coffea arabica* L. Var. Typica y Mundo Novo en las condiciones agroclimáticas de Coatepec, Ver.

### 1.1.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar mediante análisis químico el estado nutrimental del suelo para proponer la dosis de nutrición óptima que promueva la productividad y defina el perfil del sabor de la taza de las variedades de café arábigo.
2. Diagnosticar el estado nutrimental de las plantaciones de café con la técnica de Kenworthy y DRIS.
3. Evaluar la eficiencia de la nutrición del cafeto en la calidad física y sensorial de las variedades de café arábigo para proponer estrategias de manejo de la nutrición de las fincas.

### Hipótesis

La corrección de deficiencias nutrimentales de los cafetos favorece la calidad física del grano y calidad de la taza del café arábigo (*Coffea arabica* L var Typica y Mundo Novo).

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Nutrición del cultivo

Las plantas de café necesitan nutrientes en proporciones adecuadas para desarrollarse en tamaño, producir y resistir plagas y enfermedades. Para ello, es conveniente tomar en cuenta los requerimientos nutrimentales del cultivo y las condiciones de fertilidad del suelo y del tejido vegetal, a fin de realizar una fertilización oportuna conforme al estado fenológico del cultivo y las necesidades nutrimentales indicadas en los análisis.

#### 2.1.1 Condiciones de la fertilidad del suelo para su crecimiento

El suelo es el medio con los requerimientos físicos y químicos que permite garantizar la productividad de los sistemas de producción para los cafetos. Pérez y Suarez (2011) mencionan que el suelo ideal para el cultivo del café debe tener 50 cm de profundidad; buen drenaje, permeable y facilite el enraizamiento. Los suelos que son favorables a la planta de café tienen una porosidad del 50-60% (agua + aire), contenido mineral de (45%) y orgánico (2-5%). También consideran que las propiedades físicas del suelo son mucho más importantes, porque no pueden ser modificadas, mientras que sus propiedades químicas pueden ser corregidas. Los tipos de suelo más adecuados para el café son los que provienen de lava, ceniza volcánica, rocas básicas y depósitos aluviales, que proporcionan alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y un estado orgánico favorable. Como regla general, los suelos adecuados para el café no deben contener más del 30% de arena gruesa (mayor de 2 mm) y 70% de arcilla en las capas superiores de 30-50 cm (Descroix & Snoeck, 2004).

En México las zonas cafetaleras presentan una amplia variación de unidades y sub-unidades de suelos, siendo los tipos más importantes: Luvisoles (52%), Rendzinas (14%), Regosoles (11%) y Ferrosoles (2%). Así, los suelos cafetaleros son muy variables por su origen, composición, topografía, erosión hídrica y química, temperaturas, presencia de malezas y el tipo de manejo que le da el cafeticultor (Santoyo et al., 1994). Según INMECAFÉ (1990) un suelo representativo de las zonas cafetaleras posee las siguientes características:

textura migajón arcilloso o arcillosos, profundidad de un metro, pH entre 4.0 y 5.5, menos del 5% de materia orgánica, bajos contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio, contenidos medios de calcio y magnesio.

Snoeck y Lambot (2009) mencionan que un exceso de aluminio o manganeso intercambiables en el suelo combinado con un nivel de pH muy bajo presenta un riesgo de toxicidad para los cafetos. Del mismo modo, cuando las deficiencias o desequilibrios entre los diversos elementos son notorios, estos deben ser corregidos mediante la aplicación de fertilizantes o cal agrícola.

Los requerimientos de los cafetos se pueden considerar con relación a la textura del suelo, evaluada de acuerdo con el contenido de arcilla y limo. La relación entre los principales cationes también debe considerarse y debe estar dentro de ciertos límites:

<b>Relación</b>	<b>Límite inferior %</b>	<b>Límite superior %</b>
Mg:K	< 2	> 5
Ca:K	< 3	>14
Mg:Ca	< 0.2	>0.8

La proporción óptima de K:Ca:Mg es aproximadamente 18 % de la suma de las bases intercambiables (Snoeck & Lambot, 2009).

### **2.1.2 Concentraciones nutrimentales foliares óptimas en el cultivo del café**

Las deficiencias y toxicidades son relativamente fáciles de identificar en las hojas de café, debido a los síntomas visibles que se manifiestan. Mediante el análisis de suelo no es suficiente determinar el estado nutrimental del cultivo. Se debe complementar con el análisis foliar y a menudo se confirman las deficiencias o toxicidades que se identifican por las observaciones visuales en campo. El Cuadro 1 muestra concentraciones foliares óptimas reportadas para el cultivo del café (Snoeck & Lambot, 2009).

Cuadro 1. Valores del contenido nutrimental en hojas de café.

<b>Nutriente</b>	<b>Deficiencia</b>	<b>Rango optimo</b>	<b>Exceso</b>
N (%)	< 2.0	2.5-3.0	> 3.5
P (%)	< 0.1	0.15-0.2	> 0.2
K (%)	< 1.2	1.5-2.6	> 2.6
S (%)	< 0.05	0.10-0.20	> 0.25
Ca (%)	< 0.5	0.7-1.3	> 1.5
Mg (%)	< 0.15	0.2-0.4	> 0.5
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	< 50	50-150	> 220
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	< 20	150	> 400
C (mg kg <sup>-1</sup> )	< 3.0	6-15	> 25
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	<7.0	10-15	> 20
Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	< 0.10	0.15-0.20	> .30
B (mg kg <sup>-1</sup> )	< 30.0	40-100	> 100

Por otra parte, Clifford y Willson (1985), mencionan que los niveles foliares en las plantas de café son los siguientes:

Cuadro 2. Niveles Foliares en hojas de café.

<b>Nutriente</b>	<b>Deficiencia</b>	<b>Sub normal</b>	<b>Normal</b>
N (%)	2.00	2.60	3.50
P (%)	0.10	0.15	0.20
K (%)	1.50	2.10	2.60
Ca (%)	0.40	0.75	1.50
Mg (%)	0.10	0.25	0.40
S (%)	0.10	0.15	0.25
Cl (%)			0.2*
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	40	70	200
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	25	50	100
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	10	15	30
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	3	7	20
B (mg kg <sup>-1</sup> )	25	40	90
Al (mg kg <sup>-1</sup> )			60
Mo (mg kg <sup>-1</sup> )	0.5	0.8	

### 2.1.3 Desviación del óptimo porcentual

El método de desviación óptimo porcentual (DOP), es considerado como un procedimiento estadístico, que utiliza la comparación de la concentración del nutrimento respecto a la norma, la cual se considera a partir del nivel óptimo nutrimental en el cual cada cultivo expresa su máximo rendimiento potencial. Este índice no tiene en cuenta la variabilidad debida al momento del muestreo ni las relaciones entre los nutrimentos (Alcántar & Trejo, 2012).

El índice DOP es definido como la desviación porcentual de la concentración de un elemento (% sobre materia seca) con respecto a la concentración óptima que es considerada valor de referencia. El signo DOP para un determinado elemento, será negativo en caso de déficit y positivo en caso de exceso. Cuando el contenido de la muestra coincida con el óptimo de referencia el DOP será igual a cero (Montañez & Sans, 1991).

El índice de Desviación del Óptimo Porcentual se calcula aplicando la siguiente formula:

$$DOP = (C \times 100 / C_{ref}) - 100$$

Dónde:

C= es la concentración foliar (en porcentaje sobre materia seca) del elemento en la muestra analizada.

C<sub>ref</sub>= es el óptimo del mismo elemento (porcentaje sobre materia seca) definido en las mismas condiciones en que fue tomado la muestra problema y para el mismo cultivo.

Calculando el DOP para cada uno de los nutrientes minerales considerados o que se incluyan en un estudio se dispondrá del panorama nutricional de la planta y se podrá emitir un diagnostico que permita tomar decisiones adecuadas de nutrición.

### 2.1.4 Índice de balance Kenworthy

Los índices balanceados de Kenworthy, evalúan el estado nutricional por medio del porcentaje de desvío de la concentración de determinado nutriente con relación a la norma. Estos índices presentan ventajas frente a otros, porque para el cálculo se consideran los coeficientes de variación observados para cada nutriente en la población que origina la norma. Por lo tanto, cuando la concentración de un determinado nutriente en la muestra es inferior a la concentración de ese nutriente en la norma, la influencia de la variabilidad se añade. Cuando la concentración de un nutriente en la muestra es superior a la norma, la influencia de la variabilidad se sustrae, dando origen a los índices de Kenworthy (Kenworthy, 1961). El índice se calcula mediante las fórmulas siguientes:

*Si M es < que S*

$$1. \left(\frac{M}{S}\right) * 100 = P$$

$$2. (100 - P) * \left(\frac{CV}{100}\right) = I$$

$$3. P + I = B$$

*Si M > que S*

$$1. \left(\frac{M}{S}\right) * 100 = P$$

$$2. (P - 100) * \left(\frac{CV}{100}\right) = I$$

$$3. P - I = B$$

Dónde:

M= Valor de la muestra

S= Valor del estándar

P= % respecto al estándar

CV = Coeficiente de variación

I= Influencia de variación

B= índice de balance

## **2.2 Manejo tradicional de la nutrición del cafeto**

La fertilización del cultivo del cafeto es una de las labores más importantes del cultivo, sin ella y otras prácticas culturales los cafetos producen poco o se produce mayor cantidad de frutos vanos y las plantas se vuelven más susceptibles a plagas y enfermedades. De este modo, la finalidad de aplicar fertilizantes es elevar la concentración de uno o más elementos en la solución del suelo, para producir una adecuada absorción por las raíces y balancear el contenido de nutrientes en el tejido vegetal. Las prácticas de fertilización varían de acuerdo con la fertilidad natural del suelo, así que es fundamental realizar previamente un análisis con el fin de ajustar un programa de fertilización de acuerdo con las cantidades encontradas.

En México, las investigaciones sobre el cultivo del café las realizó la Comisión nacional del café en 1953 y el INMECAFE continuó con este trabajo hasta que desapareció en 1993 (Santoyo et al., 1995). Se experimentó por regiones cafetaleras en los estados y al final se llegó a la recomendación de tres fórmulas: 18-12-00, 18-00-12 y 16-12-06 que en la actualidad siguen vigentes entre los productores. La aplicación de estas fórmulas consiste en aplicar 100 g de fertilizante para cafetos en desarrollo y 200 g de fórmula para cafetos en producción. La primera aplicación durante la segunda quincena de junio y la segunda en la primera quincena de octubre. Con esta recomendación generalizada no hay evidencia de que realmente se esté aplicando la cantidad de fertilizantes que atiendan la exigencia nutricional de los cafetos por etapa de desarrollo.

### **2.2.1 Deficiencias nutrimentales del café**

Una adecuada nutrición del cultivo del café está influenciada por el conocimiento de los requerimientos de la planta y por la cantidad de nutrientes que se encuentran en el suelo donde se cultiva. Si hay una cantidad mínima de uno u otro elemento esencial para el normal desarrollo de las plantas es necesario agregar las cantidades en las fórmulas correctas para promover el buen desarrollo y rendimiento del cultivo. Por ello se presentan la sintomatología de

deficiencias nutrimentales para realizar un diagnóstico visual en campo como una primera herramienta de detección de deficiencias nutrimentales.

### **2.2.2 Nitrógeno**

Los síntomas típicos que revelan la falta de nitrógeno es la clorosis general de hojas viejas. Más tarde las hojas maduras también se vuelven cloróticas y como resultado la planta entera se vuelve amarilla y a veces casi blanca. Las hojas son muy sensibles al sol y a menudo tienen severos daños. Las hojas afectadas son opacas y sin brillo. Venas blanquecinas aparecen ocasionalmente en las hojas viejas. Las hojas caen y gradualmente las ramas se marchitan de la punta a la base (Snoeck & Lambot, 2009). Los frutos se vuelven amarillos, tienen poco crecimiento y caen con facilidad (Valencia, 1998). La clorosis comienza por el ápice de la hoja y la nervadura central y se expande hacia los bordes.

### **2.2.3 Fósforo**

La deficiencia de fósforo es revelada por una ligera clorosis moteada de las hojas viejas con un suave amarillamiento intervenal. En estados avanzados, las manchas amarillas se vuelven rojizas o necróticas y las hojas viejas caen pronto. La deficiencia de fósforo también reduce el desarrollo de raíces de las plantas de café (Snoeck & Lambot, 2009).

### **2.2.4 Potasio**

La falta de potasio se puede notar por la aparición de una banda clorótica a lo largo de los márgenes de las hojas más viejas. Más tarde aparecen manchas necróticas marrón oscuro en el mismo lugar. Las manchas se extienden hasta los bordes enteros de las hojas y son necróticas, mientras la sección central de las hojas permanece verde. Estos síntomas son similares a los daños por salinidad. Cuando la deficiencia es grave, los bordes amarillentos se secan quedando de color gris y se produce pérdida de hojas, la muerte descendente es la etapa final. Pruebas revelan que las hojas de plantas deficientes contienen 0.36 -1.07 % de potasio foliar comparado a las hojas de la planta control la cual contiene 2.62-3.86 % (Snoeck & Lambot, 2009; Valencia, 1998).

### **2.2.5 Magnesio**

Inicialmente los síntomas de deficiencia de magnesio revelan una ligera clorosis a lo largo de los bordes de hojas viejas, pero más tarde en etapas avanzadas desarrollan puntos necróticos de color café con hendiduras en una banda ancha alrededor de la hoja. Solo la nervadura y las venas mantienen un color verde oscuro sano (Pérez & Escamilla, 2002). El amarillamiento empieza en la base de la rama y se va extendiendo hacia la punta provocando la pérdida de hojas (Valencia, 1998). Pruebas revelan que las hojas de plantas deficientes tienen niveles de magnesio de 0.04-0.11 % comparadas a las hojas de la planta control la cual tiene niveles de 0.3-0.35 % (Snoeck & Lambot, 2009).

### **2.2.6 Calcio**

Los síntomas típicos de la deficiencia de calcio afectan hojas jóvenes que se vuelven de color bronce, particularmente a lo largo de los márgenes. La nervadura permanece verde oscuro dejando una muestra de clorosis generalmente a lo largo de los bordes o manchas necróticas en la hoja. Las hojas no abren normalmente y se tuercen hacia abajo y las hojas jóvenes presentan un ondulado en los filos. Los brotes nuevos mueren (Pérez & Escamilla, 2002; Valencia, 1998). Las raíces tienen un desarrollo pobre cuando existe deficiencia de calcio y las plantas se vuelven susceptibles a plagas y enfermedades.

### **2.2.7 Boro**

La deficiencia de boro afecta a las hojas más jóvenes tornándose de color verde claro, más pequeñas que lo normal, curvadas o torcidas y moteadas con pequeñas manchas necróticas. Se presenta un amarillamiento que inicia en la punta de la hoja y avanza hasta casi más de la mitad de la hoja. Las hojas jóvenes son incapaces de abrir normalmente, lo cual resulta en márgenes irregulares y una superficie rugosa. La yema terminal del tallo de las ramas muere, esto hace que las plantas produzcan nuevos brotes y que muestren aspecto de abanico. Los frutos se rajan y se reduce el desarrollo de raíces, flores y frutos. La concentración de boro en hojas de plantas deficientes puede ser de 9 mg kg<sup>-1</sup>

contra 31-52 mg kg<sup>-1</sup> en la planta control (Snoeck & Lambot, 2009 y Valencia, 1998).

### **2.2.8 Zinc**

La deficiencia de zinc también afecta a las hojas jóvenes, que permanecen pequeñas, estrechas y quebradizas. Están formadas como una lanza y se rompen fácilmente. La clorosis intervenal en la hoja revela la red de venas finas. Esto es similar al aspecto en la hoja del caso de una deficiencia de hierro. Una deficiencia de zinc es más tipificada por un acortamiento de los entrenudos, exceso de brotes y muerte regresiva de ramas en la etapa final. Los niveles de zinc de menos de 10-15 mg kg<sup>-1</sup> han sido reportados en deficiencia de plantas (Snoeck & Lambot, 2009).

### **2.2.9 Hierro**

La falta de hierro es conocida por clorosis intervenal en hojas jóvenes y se presenta en estados tempranos, el área intervenal de las hojas es verde claro, más tarde se vuelve amarilla o blanco crema. En una etapa posterior el verde oscuro de las venas contrasta fuertemente con el tejido pálido y aparece como un patrón delicado en red. Aunque el color verde pálido es más pronunciado en las hojas nuevas, la planta entera presenta una coloración verde poco intenso, plantas deficientes de hierro tienen una concentración en la hoja menor a 50 mg kg<sup>-1</sup> (Snoeck & Lambot, 2009 y Valencia, 1998).

### **2.2.10 Azufre**

Los síntomas de la deficiencia se muestran por una clorosis general particularmente a lo largo de la nervadura central y debilidad de las hojas jóvenes. Este síntoma ayuda a distinguir la deficiencia de azufre de la de nitrógeno, además que las deficiencias de nitrógeno son en hojas viejas y las de azufre en hojas nuevas. Otro factor que distingue una deficiencia de azufre de nitrógeno es que las hojas no pierden su brillo y el color del envés de la hoja es mucho más claro que el lado superior. El crecimiento de brotes se inhibe en etapas avanzadas y finalmente las hojas viejas se vuelven amarillentas. La concentración de azufre en la hoja de plantas deficientes se presenta de 0.04-

0.05% contra la concentración en las plantas normales que puede ser de 1.12-0.17 % (Pérez & Escamilla, 2002; Snoeck & Lambot, 2009).

### 2.2.11 Manganeso

Esta deficiencia puede ser notada entre el primer al tercer par de hojas más jóvenes. Pasan de un pálido verde olivo a un brillante amarillo y muestra un número de pequeños puntos moteados. El cuarto par es generalmente un verde normal. El amarillamiento es en toda la hoja y se presenta en las puntas de las ramas. La concentración de manganeso en la hoja de plantas deficientes se presenta cuando hay valores menores a 20 mg kg<sup>-1</sup> (Snoeck & Lambot, 2009 y Valencia, 1998).

## 2.3 Calidad sensorial del café

El concepto de calidad es muy complejo, debido a que involucra todo el proceso productivo de café, los cuales deberán ser realizados con los estándares adecuados que contribuyen a conservar las características físicas y sensoriales del café. Rosas (2006) menciona que el concepto de calidad se asocia con las características del grano en oro o verde, refiriéndose principalmente a la forma, el color, el tamaño y al número de defectos que presenta el grano. También se está tomando en consideración los atributos sensoriales que tiene la bebida o infusión. La calidad intrínseca del café se evalúa en dos aspectos, las características físicas del grano y las características sensoriales, conocidas como cata o evaluación en taza.

### 2.3.1 Atributos físicos

**Tamaño del grano.** El factor genético influye en el tamaño de los granos, ya que el tamaño del café *Arábica* es más grande y denso que los del *Canephora*. Se ha determinado que 100 granos de la primera pesan entre 18 y 22 g y para robusta 12 y 15 g (Wintengs, 2004). El tamaño del grano varía notablemente según la variedad, localización de la finca, manejo del cafetal y clima, en especial la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto. Se mide en zarandas de pulgada (1/64”), con perforaciones redondas u oblongas. En las zarandas con perforaciones redondas, el grano retenido sobre los números del 21 al 23 se

considera muy grande, del 18 al 20 como grande, del 15 al 17 mediano y menor de 14 pequeño. Las zarandas con números inferiores se usan para la clasificación del caracol y bajan hasta el número 8 de esta serie (Regalado, 2006).

**Forma del grano.** La forma es resultado de los factores genéticos y ambientales que influyen en el desarrollo del grano. Se considera normal y se denomina planchuela la forma plano-convexa, mientras que las formas anormales o con defectos son diversas y se pueden identificar como caracoles, triángulos, elefantes o monstruos, conchas y vanos (Wintgens, 2004).

**Color del grano.** Esta característica varía según la región y la altura del sitio donde se produce y puede alterarse con el beneficiado provocando defectos. Los cafés lavados de altura tienden a producir granos de color verde azulado mientras que los de mediana y baja altura presentan granos de color verde claro (Regalado, 2006). El color también está relacionado con la especie, los granos de *café Arábica* son de color verde azulado y de color café los de *Coffea canephora* (Santoyo et al., 1996). Aunque estos últimos adquieren el color café debido a que son cafés naturales.

**Defectos.** Los defectos físicos son deformaciones del grano de café en su forma, color, olor y tamaño, debido a malas prácticas en el manejo del cultivo, beneficio y almacenamiento. En los protocolos de la Asociación Americana de cafés de especialidad se mencionan los defectos y sus causas (Kosalos et al., 2009).

**Grano negro.** Es causado por sobre fermentación de granos verdes y se originan con más frecuencia en los cafés naturales. También la sequía, recolección de cerezas del suelo y hongos influyen en este defecto. El grano negro parcial, se cataloga en esta clasificación. Los granos negros se distinguen por su color oscuro y opaco.

**Granos agrios o parcialmente agrios** se producen por contaminación microbiana y fermentación en varias etapas durante el beneficio. La recolección de cerezas sobre maduras, o las que se encuentran en el suelo, aguas

contaminadas durante el proceso de lavado o la sobre fermentación de cerezas en el árbol por condiciones de alta humedad. Este tipo de defecto se reconoce por el color amarillo pálido, amarillo intenso, carmelita o rojizo (Kosalos et al., 2009).

**Granos dañados por hongos:** son originados por hongos del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* que afectan el grano en cualquier etapa del proceso desde la recolección hasta el almacenamiento. Se reconoce por las manchas amarillas o rojizas recubiertas por un polvillo, que van creciendo hasta cubrir completamente el grano (Kosalos et al., 2009).

**Materia extraña.** Es defecto por incluir cualquier material ajeno al café, como piedras, palos, clavos o basura en general.

**Cereza seca.** En cafés lavados la presencia de cerezas secas es el resultado de un deficiente proceso de despulpado y de eliminación de flotes. En cafés naturales, la presencia de éstos se debe a una trilla y selección deficientes. Se reconoce fácilmente, porque la pulpa seca cubre parte o el pergamino entero, algunas veces con formación de manchas blancas, que son signos de formación de hongos y afectan el aspecto del café verde y la taza (Kosalos et al., 2009).

**Grano brocado severo y ligero.** Es originado por la broca (*Hypothenemus hampei*), perfora la cereza formando túneles en la blanda semilla con el fin de reproducirse en el interior. La incidencia de broca tiende a disminuir a mayor altura del cultivo. El grano brocado se distingue por las pequeñas perforaciones que miden de 0.1 a 0.5 mm y presentan daño severo con más de tres perforaciones (Kosalos et al., 2009).

**Grano partido, mordido o cortado.** Se originan en el proceso de despulpado y trilla, por un ajuste o calibración no adecuada de los equipos, que causan excesiva fricción o presión del grano. Los granos mordidos o cortados presentan una coloración rojiza oscura, debido a una oxidación del área cortada durante el proceso de despulpado. Estos granos originan sabores defectuosos en taza.

Mientras que los partidos o cortados por la maquila trilladora son pedacitos de granos limpios sin presencia de oxidaciones (Kosalos et al., 2009).

**Grano inmaduro.** Es aquel que no ha madurado correctamente, debido a varios factores como recolección de granos inmaduros, maduración irregular, falta de fertilización y cuidado del cultivo. Este defecto se reconoce por su tamaño pequeño, de baja densidad, forma cóncava y bordes afilados. La película plateada es de color pálido amarillento o verdoso y firmemente adherido al grano (Kosalos et al., 2009).

**Grano averanado o arrugado.** Se debe a sequias durante el desarrollo del grano. La proporción de granos averanados aumenta si las plantas se encuentran enfermas y mal fertilizadas. Se reconocen porque son granos pequeños, de baja densidad, mal formados y de superficie arrugada (Kosalos et al., 2009).

**Conchas.** Se debe a factores genéticos del árbol. Son granos mal formados que consisten en dos partes, que por fricción o golpes generalmente se separan. La parte externa tiene la forma de una concha de mar y la parte interna tiene forma cónica o de cilindro (Kosalos et al., 2009).

**Flotes.** Es causado por un secado deficiente o condiciones de almacenamiento no adecuadas. Estos granos son extremadamente blancos y decolorados que dan al café verde una apariencia dispareja (Kosalos et al., 2009).

**Café pergamino.** Se origina en la trilladora debido a un desajuste en la máquina. Son granos cubiertos parcial o totalmente por el pergamino.

**Cáscara o pulpa.** Aparece en los cafés naturales que no han sido limpiados correctamente y a una mala calibración de la maquina despulpadora. La cáscara o pulpa son fragmentos secos de cereza de color rojo oscuro.

En la evaluación de la muestra de café verde se deben clasificar todos los defectos encontrados de acuerdo con la descripción anterior (SCAA, 2009).

### 2.3.2 Atributos organolépticos

El catado en taza es un término utilizado para describir los procesos por los cuales la calidad de café verde es evaluada y clasificada. Los cafés son calificados en los lugares de origen con base a su calidad sensorial. La buena calidad está asociada a la ausencia de defectos, la apariencia física excelente se extiende a las condiciones en las cuales ha sido cultivado, por ejemplo, cafés desarrollados en altitudes mayores a 1200 msnm son considerados de alta calidad (Regalado, 2006). Los atributos sensoriales descritos por la Asociación de cafés Especiales de América (SCAA) para cafés especiales son los siguientes (SCAA, 2015):

**Acidez:** Sensación gustativa primaria producida por la dilución de ácidos orgánicos y percibida con mayor intensidad en las regiones laterales de la lengua (SCAA, 2015). La acidez es un atributo que se califica en el catado del café, se menciona que cafés de altura son más ácidos que los que se cultivan en partes bajas. Regalado (2006) sugiere no confundir la acidez con agrio, ya que la acidez es considerada como un atributo deseable en la bebida y el agrio se relaciona con defectos indeseables, lo cual demuestra que existieron errores en el procesamiento del café verde. En un análisis sensorial, la nota agria está asociada con una mezcla de ácidos, alcoholes y ésteres producida por fermentación microbiana. La acidez de la bebida también se destaca o disminuye con el grado de tostación de los granos. Al respecto, un tostado medio origina una acidez alta dando mayor calidad y aroma a la bebida. Así, a mayor grado de tostación se intensificarán el amargo y el cuerpo y disminuye la acidez organoléptica y titulada (Puerta, 2000).

**Aroma.** También llamado fragancia o nariz, es el olor de la infusión del café provocado por los vapores que se desprenden de una bebida recién preparada (SCAA, 2015). En este atributo se destacan importantes factores ambientales y prácticas postcosecha, almacenamiento y tostado que pueden ocasionar defectos en la bebida. Las sensaciones olfatorias son efímeras y no son fáciles de describir o clasificar, se requiere un olfato muy práctico para realizar las

analogías a ciertas notas aromáticas tales como avellana, chocolate, floral, cítrico, etc. En los granos de café tostado se pueden encontrar compuestos químicos con diversas clases de aromas, como caramelo, tostado, almendra, nuez, frutales y también aparecen aromas desagradables que son considerados como defectos y disminuyen la calidad del café, tales aromas a tierra, ahumado, fétido, rancio, entre otros (Puerta, 2011). El aroma es el término general utilizado para referirse a todos los estados de los olores del café en la rueda de sabores (Figura 1).

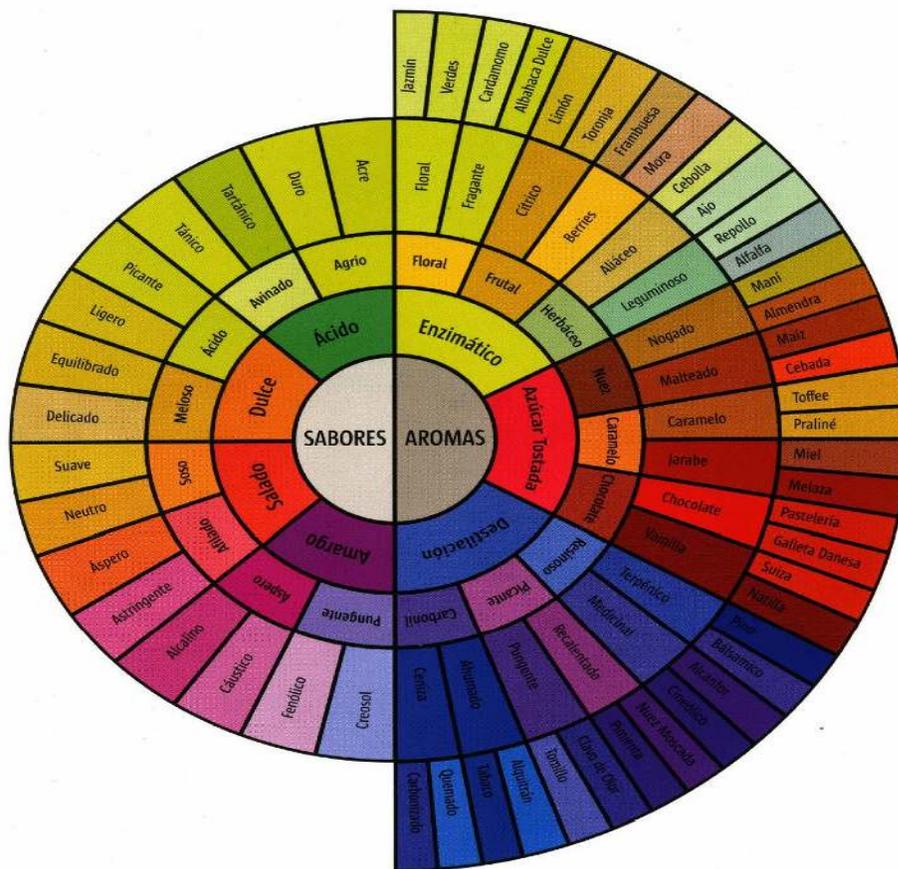


Figura 1. Rueda de sabores de la bebida de café.  
<http://www.coffeeiq.co/rueda-de-sabores-y-aromas-del-cafe/>

**Cuerpo:** Sensación táctil percibida en la boca por la presencia de sustancias insolubles, líquidas o sólidas suspendidas en la bebida. Un café con bajo cuerpo

da una sensación de aguado, aunque tenga la concentración correcta. Entre mayor sea la calificación mejor será la bebida (SCAA, 2015). Este atributo se utiliza para describir la plenitud del gusto, en oposición a una impresión insuficiente, de acuoso. El cuerpo puede ser juzgado desde acuoso o llano hasta graso o viscoso. Algunos sólidos no disueltos arrastrados a la taza en el momento de la extracción quedan suspendidos y contribuyen a esta sensación en la boca (Lenoir, 2013).

**Fragancia:** Olor del café seco y molido (Figura 2).



Figura 2. Rueda de defectos y fallas del café.  
<http://www.coffeeiq.co/rueda-de-sabores-y-aromas-del-cafe/>

**Nariz.** Sensación que producen en la parte posterior del paladar los vapores arrastrados al tragar la infusión.

**Resabio.** Sensación de sabor percibida en el paladar después de la fase gustativa, provocada por el conjunto de vapores que provienen del material orgánico más pesado

**Dulzura.** Se refiere a una agradable plenitud de sabor, así como cualquier dulzor obvio y su percepción es el resultado de la presencia de ciertos carbohidratos.

**Taza limpia.** Se refiere a la falta de interferencias de las impresiones negativas desde la primera ingestión hasta el final. También se observa la experiencia de sabor total desde el momento de la ingestión inicial hasta la deglución o expectoración final.

**Uniformidad.** Se refiere a la consistencia del sabor de las diferentes tazas de la muestra probada.

**Defectos.** Son sabores negativos o pobres que restan importancia a la calidad del café, se pueden ordenar en cuatro grupos

Los olores están compuestos de varias sustancias volátiles, y se sabe que en el café se encuentran cerca de 850 compuestos volátiles, principalmente furanos, pirazinas, cetonas, pirroles, fenoles, hidrocarburos, ácidos, aldehídos, ésteres, alcoholes, tioles, tiazoles y oxazoles, que no se encuentran en el grano de la almendra, ya que en esta semilla se han contabilizado cerca de 244 compuestos nitrogenados y 75 azucarados. Los grupos químicos de algunas notas aromáticas del café tostado son (Puerta, 2011):

Furanos: Caramelo, paja, césped, azúcar quemado, almendra, ahumado, astringente, café tostado, frutal.

Pirazinas: Chocolate, tierra, mohoso, nuez, tostado, graso, maíz, alquitrán, pimentón, maní, rancio.

Piridinas: Amargo, astringente, caramelo, mantequilla.

Tioles: Café tostado envejecido, descompuesto, animal, carne asada.

Cetonas: Mantequilla, caramelo, dulce, miel, frutal, manzana cocida, floral, grasa, rancio, madera.

Tiofenos: Cebolla, mostaza, fétido.

Pirroles: Dulce, maíz, cereal, aceite, medicinal, setas comestibles, grasa, nuez.

Tiazoles: Tierra, papa, verde, nueces.

Hidrocarburos: Fétido, petróleo, tabaco, manteca, terroso, madera.

Ésteres: Frutal, dulce, grasa, rancio, irritante, floral.

Fenoles: Tabaco, ahumado, clavo, fenólico, quemado, caucho astringente, amargo, picante, terroso, madera.

Aldehídos: Vinoso, miel, cocido, tostado, grasa, madera, verde, malta, ácido, fermentado, picante, dulce, herbal, papas cocidas, frutal, vainilla, picante, quemado, tostado, rancio.

Alcoholes: Floral, dulce, frutal, mohoso, tierra, tostado, verde, herbal, rancio.

Lactonas: Melocotón, coco, nuez, dulce, especia, quemado, grasa.

Ácidos: Vinagre, dulce, rancio, floral, mentolado, frutal, verde herbal, grasa, rancio, mohoso, terroso.

Aminas: Desagradable, penetrante, descompuesto, pescado, amoníaco.

Piranos: Dulce, eucalipto.

La autora menciona que el contenido de compuestos químicos del aroma y sabor de la bebida de café van a depender de la variedad de café arábica, madurez del fruto, tipo de beneficiado, almacenamiento, el grado de tostación y el método de preparación de la bebida.

## **2.5 Fertilización y calidad del café**

La nutrición mineral es una práctica de manejo que influye directamente en el tamaño y cantidad de granos cosechados, sin embargo, su efecto puede presentarse a nivel de apariencia y calidad en taza. Se han reportado algunos efectos de los nutrimentos sobre la calidad del café, como, la deficiencia de boro que incrementa el porcentaje de granos vanos, mientras que la deficiencia de hierro puede producir granos de coloración defectuosa (Santoyo et al., 1996).

Wintgens (2004) señala que el zinc participa en la formación de almidones y en la formación de semillas, su deficiencia conduce a la producción de semillas de café pequeñas y una bebida pobre. Rosas (2006) determinó que los contenidos de zinc y manganeso extractables en el suelo afectan la calidad física del grano principalmente en la forma de planchuela. Niveles altos de zinc presentan porcentajes bajos de planchuela (81.3%), mientras que niveles muy bajos

presentan 88.5% de planchuela deduciéndose que contrario a otras plantas los requerimientos de este nutriente por el café son pequeños. En relación con el manganeso un nivel alto de éste corresponde al menor porcentaje de granos planchuela, mientras que los niveles medios tienen los promedios más altos con esta forma.

Por otro lado, en un estudio realizado en Sheko y Yayu, Etiopia, donde analizaron la influencia de las propiedades del suelo en la calidad de la taza encontraron que el contenido de zinc del suelo se correlacionó negativamente con la calidad de la taza en Sheko, pero se correlacionó positivamente en Yayu, esto es, una mayor concentración de zinc se asoció con mala calidad del café en Sheko pero con mejor calidad en Yayu. El rango de concentración de zinc en el suelo en el área de Sheko fue de 0.66-7.22 mg kg<sup>-1</sup> (media 2.97 mg kg<sup>-1</sup>) y en Yayu de 0.52-3.04 mg kg<sup>-1</sup> (media 1.41 mg kg<sup>-1</sup>) (Yadessa et al., 2008).

Pérez (2005) estudiaron las sub-denominaciones de origen del café Veracruz y reportaron que no hubo correlación significativa entre las características químicas del suelo y la intensidad de los atributos del café. Sin embargo, determinaron que los perfiles de sabor están relacionados con los tipos de suelo. Suelos derivados de calizas (rendzinas) se definen perfiles cuyas notas más frecuentes se encuentran en el grupo de las nueces, mientras que en zonas de origen volcánico (Andosoles) los perfiles de sabor están asociados con el subgrupo de los chocolates. También se evaluó el efecto del suelo sobre la calidad sensorial de la bebida encontrándose que el contenido nutrimental del suelo tiene influencia sobre los atributos sensoriales de la taza. La fragancia se afecta por el contenido de calcio, magnesio y hierro; aroma por fósforo y potasio; nariz por materia orgánica, nitrógeno total y hierro; resabio por boro; el cuerpo de la bebida por parte de la materia orgánica y el potasio y la acidez por calcio, magnesio, cobre y hierro.

La deficiencia de magnesio adversamente afecta la calidad del café, ya que repetidas aplicaciones de pasto elefante o estiércol de ganado resultaron en un incremento del porcentaje indeseable de granos color marrón y en consecuencia

características pobres de tostado. Este efecto fue asociado con una deficiencia de magnesio inducida por el alto contenido de potasio del pasto elefante tanto como altas concentraciones de potasio y calcio en el estiércol. La deficiencia de hierro en suelos con alto pH produce una semilla ámbar y suave con reducida calidad. La calidad de la taza es afectada negativamente cuando el contenido de calcio de las semillas excede 0.11%. El potasio, afecta negativamente la calidad del café cuando la concentración de este elemento en la semilla excede 1.75% (Wintgens, 2004).

## 2.6. Literatura citada

- Alcántar G. G. & Trejo-Téllez L. I. (coords.). 2012. Nutrición de cultivos. Colegio de Posgraduados y Mundi-Prensa. México, D. F.
- Buffo, R. A., & Cardelli-Freire, C. (2004). Coffee flavour: an overview. *Flavour and fragrance journal*, 19(2), 99-104.
- Bhumiratana, N., Adhikari, K., & Chambers IV, E. (2011). Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2185-2192.
- Clifford, M. N. & Willson, K. C. (1985) *Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. London: Croom Helm.
- Descroix, F. & Snoeck J. (2004). Environmental factors suitable for coffee cultivation. In: J. N. Wintgens (Ed), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. (Pp. 168-171). Weinhein, Germany. Wiley-VHC.
- Escamilla, E., Licona, A., Díaz, S., Santoyo, H., Sosa, R., & Ramírez, L. R. (1994). Los sistemas de producción del café en el centro de Veracruz, México. Un análisis tecnológico. *Revista de Historia*, (30).
- Escamilla, P.E. (2007). Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Tesis Doctoral, Colegio de Posgraduados. Veracruz, México.
- Farah, A., Monteiro, M. C., Calado, V., Franca, A. S., & Trugo, L. C. (2006). Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry*, 98(2), 373-380.
- Instituto Mexicano del Café. (1990). *El cultivo de Café en México*. México: Editorial LA FUENTE.
- Kenworthy, A. L. (1961). Interpreting the balance of nutrient elements in leaves of fruit trees. *Plant analysis and fertilizers problems*, 3(1), 28-43.
- Lenoir, J. (2013). *Le nez du café*. Editions Jean Lenoir. France.
- Kosalos, J., Stephen, R., Steven, D., Songer, P., & Alves, M. (2009). *Manual de defectos*. SCAA Comité técnico, Subcomite café verde.
- Muschler, R.G. (2006). Manejo de sombra para cafetales sostenibles. In: *El cafetal del futuro. Realidades y visiones*. Pohlen, J., L Soto y J. Barrera (Eds). Shaker Verlag. Aache, Germany. Pp: 39-61
- Muschler, R. 2004. Shade Management and its Effect on Coffee Growth and Quality. In J, Wintgens.Eds. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. p 391-418.

- Njoroge, J. M. (1998). Agronomic and processing factors affecting coffee quality. *Outlook on agriculture*, 27(3), 163-166.
- Pérez, L. E., & Suárez, L. A. (2011). Evaluación del efecto sombra en la producción de café—*Coffea arabica* L.-dentro de un sistema agroforestal tradicional con árboles en Las Minas, El Paraíso, Honduras (Bachelor's thesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano).
- Pérez, P. E., Partida S.J. G., & Martínez P.D. (2005). Determinación de las subdenominaciones de origen del café Veracruz. (Estudio preliminar). *Revista de Geografía Agrícola*, (35): 23-56.
- Pérez, P. J. R. & Escamilla, P. E. (2002). Guía práctica para identificar las deficiencias nutricionales del café. (Folleto técnico). México: Universidad Autónoma Chapingo- CRUO-CENIDERCAFE.
- Puerta, G. I. Composición química de una taza de café, *Ciencia, Tecnología e Innovación para la Caficultura Colombiana* 414(2), 1-12, (2011).
- Puerta, Q. G. I. (2000). Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 51(1): 5-19.
- Regalado, O. A. (2006). ¿Qué es la calidad del café? México. Universidad Autónoma Chapingo.
- Rosas A., J. (2006). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos con manejo orgánico y su efecto sobre la calidad física y sensorial del café (*Coffea arabica* L.) en cinco regiones de México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384.
- Santoyo, V. H., Díaz, S., Escamilla, E., & Robledo, J. D. (1996). *Factores agronómicos y calidad del café*. (Folleto técnico). México. Confederación de Productores de Café-Universidad Autónoma Chapingo.
- Santoyo C, V. H.; Díaz C, S & Rodríguez, P. B. (1994). *Sistema agroindustrial café en México. Diagnóstico, problemática y alternativas*. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Semmelroch, P., Laskawy, G., Blank, I., & Grosch, W. (1995). Determination of potent odourants in roasted coffee by stable isotope dilution assays. *Flavour and fragrance journal*, 10(1), 1-7.
- Secretaría de Economía (2002). NOM.149-SCFI-2002.

- Specialty Coffee Association of America. (2015).  
In:<http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>
- SCAA. (2009). Specialty Coffee Association of America. Grading Green coffee.  
In: <https://www.scaa.org/PDF/resources/grading-green-coffee.pdf>
- Snoeck, J., & Lambot, C. (2009). Crop maintenance. Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders and researchers, 250-273.
- Suárez Salazar, Juan Carlos, Rodríguez Burgos, Engelberto, & Duran Bautista, Ervin Humprey. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica*, 64(4), 342-348. <https://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.44641>
- Valencia A, G. (1998). Manual de nutrición y fertilización del café. Quito, INPOFOS.
- Wei, F., & Tanokura, M. (2015). Organic compounds in green coffee beans. In *Coffee in Health and Disease Prevention* Ed. Victor R. Preedy (pp. 149-162).
- Wintgens, J. N. (2004). Factor influencing the quality of Green coffee. In: J. A. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (Pp.789-809) Weinheim, Germany. Wiley-VHC.
- Yadessa, A., Burkhardt, J., Denich, M., Woldemariam, T., Bekele, E., & Goldbach, H. (2008). Influence of soil properties on cup quality of wild arabica coffee in coffee forest ecosystem of SW Ethiopia. In Abstract of the proceedings of the 22nd International Conference on Coffee Science, Campinas, SP-Brazil A (Vol. 102).

### 3. DIAGNÓSTICO NUTRIMENTAL DEL CAFÉ BAJO SOMBRA EN COATEPEC, VERACRUZ<sup>3</sup>

#### 3.1 Resumen

La evaluación del estado nutrimental con base en el análisis de suelos y el análisis de tejido vegetal es una estrategia para lograr el balance nutrimental de los cultivos agrícolas. Entre las técnicas para interpretar los análisis de tejidos, se encuentran los índices de Balance Kenworthy y DOP. Con base en estas herramientas se realizó el estudio con el objetivo de diagnosticar el estado nutricional de dos variedades de café arábigo, Typica y Mundo Novo, en Coatepec, Ver. Para ello, se realizó el análisis de suelo y de tejido vegetal, después de la interpretación de los análisis se planteó la dosis nutrimental balanceada para ser suministrada a las plantas. Se utilizaron 15 plantas por variedad, siendo un árbol de café la unidad observacional. Las variables evaluadas fueron peso, volumen y número de frutos de cada cafeto. El análisis de suelo indicó un pH ácido y también deficiencias de P, Mn y Ca, éste último en desbalance con K. En cuanto al índice de balance Kenworthy, de acuerdo con el orden de requerimiento nutrimental, para las mismas condiciones de suelo, la variedad Typica demanda mayor cantidad de N seguido del Mn, Cu, B y Zn; en tanto que Mundo Novo mostró el orden de requerimiento siguiente: Mn>B>Zn>Fe>Cu. Los resultados para los índices DOP, coinciden en la deficiencia de N y Mn en ambas variedades, sin embargo, los otros nutrientes presentan diferente clasificación. La fertilización aplicada a los cafetos no tuvo efectos entre las variedades Typica y Mundo Novo para las variables evaluadas, aunque Mundo Novo tuvo mayor carga de frutos, el incremento de rendimiento de los cafetos fue mínimo de acuerdo a la productividad promedio de las variedades.

**Palabras clave:** Diagnóstico nutrimental, índices de balance Kenworthy, DOP, Mundo Novo y Typica.

---

<sup>3</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Luisa Amador Atlahua.

Director de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

# NUTRITIONAL DIAGNOSIS OF COFFEE GROWING UNDER SHADING IN COATEPEC, VERACRUZ<sup>4</sup>

## 3.2 Abstract

The evaluation of nutritional status based on soil analysis and analysis of plant tissue is a strategy to achieve the nutritional balance of agricultural crops. Among the techniques for interpreting tissue analyzes, the Kenworthy Balance and DOP indices are included. Based on these tools, the study was carried out with the objective of diagnosing the nutritional status of two varieties of Arabica Coffee, Typica and Mundo Novo, in Coatepec, Ver. To do that, the analysis of soil and plant tissue was performed, after the interpretation of the analyses the balanced nutritional dose for the plants to be supplied, was proposed. Fifteen plants per variety were used, one coffee tree was the observational unit. The evaluated variables were weight, volume and number of fruits of each Coffee plant. The soil analysis showed pH acid, and also deficiencies in P, Mn and Ca, the latter in unbalance with K. Regarding the Kenworthy's balance index, according to the order of nutritional requirement, for the same soil conditions, the Typica variety demands a greater quantity of N followed by Mn, Cu, B and Zn; while Mundo Novo showed the following order of order: Mn > B > Zn > Fe > Cu. The results for the DOP indices coincide in the deficiency of N and Mn in both varieties, however, the other nutrients present a different classification. The fertilization applied to the coffee trees had no effect between the Typica and Mundo Novo varieties for the evaluated variables, although Mundo Novo had a higher fruit load, the increase yield of the coffee trees was minimal according to the average productivity of the varieties.

Key words: Nutritional diagnosis, Kenworthy's balance index, DOP, Mundo Novo and Typica

---

<sup>4</sup> Thesis Master's Degree in Agroforestry for Sustainable Development, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Luisa Amador Atlahua

Thesis advisor: Dr. Ranferi Maldonado Torres

### 3.3 Introducción

La nutrición es uno de los factores más importantes para mejorar la productividad de las fincas de café y la calidad sensorial de éste. Sin embargo, en la mayoría de las fincas cafetaleras no se realizan análisis de suelo y foliar, con los cuales se puede determinar la condición nutrimental del cultivo. La negativa se argumenta en el costo económico que los análisis representan y no se considera el valor agronómico a esta herramienta para incrementar el rendimiento y calidad de la cosecha. En el estado de Veracruz, la fertilización del cultivo se basa en productos que fueron recomendados por el INMECAFE y que posteriormente se generalizaron para todas las fincas que requerían fertilización sin contemplar el tipo de suelo y manejo del cultivo.

También, se tienen ideas de que el sistema de producción bajo sombra no requiere nutrición ya que los arboles aportan materia orgánica que se descompone y nutre a los cafetos. Aunque se sabe que el cafetal extrae grandes cantidades de nutrientes, particularmente, N, P y K, además de microelementos y éstos no son aportados en suficiencia por el sistema de cultivo, por lo que se deben adicionar al suelo mediante aplicaciones foliares para lograr buenas cosechas. Al respecto, Regalado (2006) menciona que la fertilización química actúa más rápido que los abonos orgánicos; al entrar en contacto con el suelo húmedo se disuelven inmediatamente y queda disponible para que los cafetos lo absorban. La adición de abonos orgánicos son una manera práctica de complementar la fertilidad del suelo y la pulpa del café composteada representa una fuente importante de nutrientes. Sin embargo, estos materiales no sustituyen totalmente la nutrición inorgánica (INMECAFE,1990). Por otro lado, el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas que pone en riesgo la salud de los productores y la calidad de la producción, principalmente si los granos serán destinados a mercados especiales. Rosas, Escamilla y Ruiz (2008) afirman que el análisis de suelos es una herramienta de diagnóstico que permite tener una estimación de la fertilidad del suelo. Diversos estudios señalan que los suelos cafetaleros de México tienen pH ácido, bajo contenido de materia orgánica y

deficiencias de microelementos (Lee & Esponda, 2006; López, Castro, Salinas, Reynoso & López, 2016; Rosas et al., 2008; Suárez, Rodríguez & Durán, 2015).

El objetivo de este estudio fue determinar las condiciones nutrimentales del suelo y del cultivo para generar la dosis de fertilización que mejore la productividad y calidad sensorial del café.

### 3.4 Materiales y Métodos

#### 3.4.1. Localización de la Finca

La investigación se realizó en un predio ubicado en el Municipio de Coatepec, Veracruz con altura promedio de 1,250 msnm (Figura 3). La finca se encuentra en una etapa de recuperación y reacondicionamiento ya que, debido a las variedades cultivadas y las condiciones de vegetación, suelos propicios para el cultivo y manejo de la cosecha se ha logrado mantener café de calidad.



Figura 3. Ubicación del predio de estudio.

#### 3.4.2 Caracterización agroclimática de la finca

Los suelos son de origen volcánico, Andosoles constituidos por ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono que le confiere ligereza y untuosidad, así como la capacidad de fijación de nutrientes, especialmente de fósforo (INEGI, 2004). La finca presenta vegetación de bosque o selva, temperatura mínima de 10° C y máxima de 35° C y un rango de precipitación anual de 1100 a 2100 mm. El clima se clasifica como semicálido húmedo con lluvias todo el año (INEGI, 2009).

En este lugar se cultivan variedades arábicas de porte alto de las cuales la variedad Typica representa el 80 % y Mundo Novo 20 %. Los árboles de sombra están representados principalmente por la especie *Inga sp*, *Inga edulis*, *Acacia Farnesiana*, *Leucaena leucocephala*, *Grevillea robusta* y *Bursera simaruba*, árboles frutales como guayabo, naranjo, plátano y mango entre otras. También

en algunas áreas de la finca, se encuentran palmas coyoleras y algunos ejemplares de encino.

En cuanto a la plantación donde se realizó el estudio, el sitio donde se ubica la variedad Typica tiene una densidad de 1111 plantas por ha, las plantas están distribuidas a 3 x 3 metros con un arreglo en tres bolillo. En esta zona se ubican cinco árboles de sombra, dos grevilleas y tres jinicuiles. La fracción de la variedad Mundo Novo tiene una densidad de 2415 a distancia de 1.80 x 2.30 plantas de café a doble postura en arreglo tres bolillo. En esta zona se encuentran ocho árboles de sombra, de los cuales son tres huizaches, tres chalahuites y dos jinicuiles. Se estima una edad de plantación de 40 años para ambas variedades.

#### **3.4.3. Muestreo de suelos y foliar**

Para efecto del estudio se realizó el muestreo de suelos y de tejido foliar, para lo cual se ubicaron dos lotes, uno por variedad. Se seleccionaron plantas con buen desarrollo foliar y con producción de fruto. El muestreo de suelo se realizó mediante la colecta aleatoria de 20 submuestras tomadas de la zona de goteo de las plantas de café a una profundidad de 0 a 30 cm (SEMARNAT, 2012; NOM-021-RECNAT-2012). Una vez colectadas se formó una mezcla compuesta, finalmente se llevaron al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Chapingo dónde se determinaron las propiedades químicas del Cuadro 3 (Álvarez et al., 2002).

Cuadro 3. Métodos para el análisis químico de suelos.

<b>Atributo</b>	<b>Métodos</b>
Materia orgánica (MO)	Método Walkley y Black
Nitrógeno inorgánico (Ni)	Extractable en KCl2N
P-Olsen (P)	Método Olsen
Magnesio (Mg), Calcio (Ca), Potasio (K) y Sodio (Na)	Extracción con CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> 1N pH 7 y Cuantificación por absorción atómica y fotometría de llama
Zinc (Zn), cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn)	Extraídos con DTPA
Azufre (S)	Extracción de azufre disponible con .05 M NH <sub>4</sub> O ácido. acético y determinación por turbidimetría
Boro (B)	Extracción de con CaCl <sub>2</sub> 1.0 M
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	
pH	Agua relación 1:2

El muestreo foliar se realizó de acuerdo con la técnica descrita por Wintgens, (2004). Para efecto de esta técnica foliar solo se seleccionaron 10 plantas por variedad y de las ramas productivas de la parte media del árbol ubicadas en los cuatro puntos cardinales se colectó el tercer par de hojas del ápice hacia la base, tomando como primer par aquellas con tamaño mayor de 5 cm de longitud, sanas, sin daños por plagas o enfermedades, obteniéndose un total de 80 hojas por muestra de cada variedad. Las muestras se procesaron en el laboratorio de Nutrición Vegetal de la Universidad Autónoma Chapingo de acuerdo con los procedimientos del Cuadro 4 (Álvarez et al., 2002).

Cuadro 4. Métodos para el análisis foliar del café.

<b>Atributos a medir</b>	<b>Técnicas</b>
Nitrógeno	Método semimicro-Kjendahl, modificado para incluir nitratos
Solubilización de Fósforo, Calcio, Magnesio, Potasio, Azufre, Sodio, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso y Boro	Por digestión con mezcla de ácido perclórico/ácido Nítrico
Fósforo	Método de Molibdato-Vanadato de amonio
Potasio	Determinado por Flamometría
Calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc y manganeso	Determinado por adsorción atómica
Azufre	Método turbidimétrico
Boro	Método de la Azometina-H
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	
Diagnóstico	Técnica de análisis Kenworthy, A. L. (1973)

Una vez concluidos los análisis de suelo, se interpretaron con base en los estándares indicados por la NOM-021- RECNAT-2012 y posteriormente se estimaron las dosis de fertilización para cubrir las deficiencias nutrimentales o desbalances. Los análisis foliares se interpretaron con base en la técnica Kenworthy (1973) y desviación óptima porcentual DOP (Alcántar & Trejo, 2012).

### 3.4.5 Aplicación de dosis nutrimental

Se determinó la dosis de fertilización de 190 g de N, 160 g de K y 60 g de P por árbol. El fertilizante fue colocado en el área de goteo del café y posterior a la aplicación se cubrió con la hojarasca (Figura 4). Los micro nutrimentos Fe, Mn, Cu, Zn y B se aplicaron a través del producto foliar Nutre-Más, 50 g en una bomba de 15 litros, se asperjó en cada café sobre el envés de las hojas.



Figura 4. Colocación de fertilizante a los cafetos.

#### 3.4.4 Análisis de datos

El factor de estudio fueron las variedades Typica y Mundo Novo con 15 árboles de café por variedad, donde la unidad observacional fue una planta. La variable respuesta fue el peso total por muestra, volumen y número de frutos. Los datos se sometieron a las pruebas de Barlett y Shapiro Wilk para verificar la homogeneidad de varianzas y la normalidad de los errores. Posterior a estas pruebas, se hizo la comparación de medias con la t de Student para comprobar diferencias entre variedades (Castillo, 2011). La significancia estadística fue fijada con  $p < 0.05$ , con un coeficiente de confiabilidad del 95%. Las hipótesis para probar son las siguientes:

Ho:  $\mu_x = \mu_y$  La media de producción de las dos variedades es la misma.

vs

Ha:  $\mu_x \neq \mu_y$  = La media de producción de las dos variedades es diferente

Regla de decisión: Las medias de las dos poblaciones son diferentes si  $(\text{Prob } |t|) < 0.05$ . Las medias de las dos poblaciones son iguales si  $(\text{Prob } |t|) > 0.05$

### 3.4.6. Colecta y beneficiado de muestras de Café

Cuando se realizó la colecta, meses después de la aplicación de fertilizantes, se cortaron todas las cerezas maduras de cada unidad experimental por variedad (Figura 5) y se registró el peso, volumen por método de inmersión en una probeta y número de cerezas por cada muestra (Figura 6). Posteriormente, las muestras fueron despulpadas por separado, se puso a fermentar, el lavado y secado se realizó en el beneficio húmedo de la Finca.



Figura 5. Colecta de muestras de frutos de café.



Figura 6. Determinación de peso, volumen y número de frutos.

### 3.5 Resultados y discusión

#### 3.5.1 Diagnostico nutrimental del suelo

El análisis de suelo de la finca mostró un bajo contenido de materia orgánica y un pH ácido (Cuadro 5) de acuerdo con la NOM-021-RECNAT (2012). Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Rosas, Escamilla y Ruíz (2008) en cafetales de Veracruz. Al respecto INMECAFE (1990) sugiere que, aunque los valores de pH son buenos para el cultivo del café es necesario realizar correcciones para el mayor aprovechamiento de los nutrientes y menciona que los suelos cafetaleros característicos de México tienen un porcentaje de MO menor al 5 %. En cafetales con suelo ácido con frecuencia presentan baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), y en consecuencia de disponibilidad de Ca, Mg y K; toxicidad de Al y las plantas presentan crecimiento radical pobre (Sadeghian, 2016).

Cuadro 5. Concentración e interpretación del análisis de suelo.

Atributos	Valor	Clasificación
pH	4.78	Muy ácido
MO %	5.38	Bajo
N inórg. (mg kg <sup>-1</sup> )	56.00	Alto
P (mg kg <sup>-1</sup> )	5.98	Bajo
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	655.92	Bajo
K (mg.kg)	263.00	Alto
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	349.60	Alto
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	20.49	Bajo
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	3.48	Muy alto
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	10.46	Alto
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	84.79	Muy alto
B (mg kg <sup>-1</sup> )	1.61	Alto
CIC (meq/100)	22.00	Medio

La CIC constituye uno de los parámetros más importantes de la fertilidad de un suelo debido a su capacidad de almacenamiento de K, Mg y Ca que están disponibles pero protegidos contra el proceso de lixiviación. El resultado del análisis se clasificó en un nivel medio para almacenar nutrientes NOM-021-RECNAT-2012).

Si bien el pH ácido del suelo es adecuado para el cultivo se deben realizar enmiendas con cal agrícola, también presenta deficiencias de P y Ca, éste último en desbalance con K; igualmente se precisa corregir la deficiencia de manganeso, por lo que se espera una respuesta a la fertilización mineral de estos nutrimentos por parte de las plantas de café.

Los resultados muestran un alto y muy alto contenido de Zn y Cu respectivamente, valores que coinciden con lo encontrado por Audate (2016). Maldonado, Álvarez, Almaguer, Barrientos y García (2007), mencionan que valores altos de estos elementos pueden atribuirse al pH ácido del suelo y por altas aplicaciones de Cu, suministrado como  $\text{CuSO}_4$ . Al respecto Snoeck y Lambot (2004) mencionan que efectos tóxicos de Cu se deben a la fumigación frecuente con fungicidas cúpricos, por lo que una concentración alta en el suelo no se debe a la entrada de fertilizantes a base de cobre, sino más bien al efecto fungicida que reduce la presión de hongos y otros microorganismos en las plantas de café.

Los valores altos de Fe y Zn coinciden con lo encontrado por Pérez, Partida y Martínez, (2005) y Audate (2016). Mientras que Rosas et al. (2008) encontraron valores de  $0.72 \text{ mg.kg}^{-1}$  en cafetales de Chiapas, que resultan bajos de acuerdo con los rangos óptimos de Zn que van de 3 a  $15 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Ramírez, 2009). Se puede observar en el rango nutrimental de Zn encontrado en el suelo es adecuado para el cultivo del café, mientras que, para Fe, son muy altos porque el rango óptimo para el cultivo es de 20 a  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Ramírez, 2009).

Los bajos contenidos de manganeso coinciden con lo encontrado por Rosas et al. (2008) en Chiapas con  $19 \text{ mg.kg}^{-1}$  y en un suelo Luvisol en Veracruz con  $18.27 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Pérez et al., 2005). Se considera que un suelo con pH ácido influye en los valores altos de Fe, los cuales inducen la deficiencia de Mn y P, mientras que el exceso de Cu y Zn provoca deficiencia de Fe y Mn (Salomón, 2001).

### 3.5.2 Diagnóstico foliar por índices de balance Kenworthy

La interpretación de los análisis foliares se realizó de acuerdo con Kenworthy (1973), En el Cuadro 6 se presentan las concentraciones de macro y micro nutrientes de los análisis de las muestras foliares, a las cuales se les calcularon los índices de balance y el orden de requerimiento nutrimental (ORN) para el cultivo.

Cuadro 6. Índices Kenworthy y orden de requerimiento nutrimental de variedades de café.

VARIEDAD TYPICA											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- % -----					----- mg kg-1 -----					
<b>CN</b>	1.23	0.16	4.85	0.91	0.31	0.165	67.7	31.23	13.55	11.4	76
<b>IB</b>	51.08	93.94	207.6	92.77	103.3	105.5	78.1	79.4	104.5	103.5	104.5
<b>C</b>	B	N	EX	N	N	N	B	B	N	N	N
<b>ORN</b>	<b>N&gt;Fe&gt;Mn&gt;Ca&gt;P&gt;Mg&gt;Cu&gt;B&gt;Zn&gt;S&gt;K</b> <b>Abajo del Normal    NORMAL    Arriba del Normal</b>										
VARIEDAD MUNDO NOVO											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- % -----					----- mg kg-1 -----					
<b>CN</b>	1.44	0.17	3.68	0.84	0.32	0.165	107.8	28.8	13.3	14.58	73
<b>IB</b>	57.62	97.98	162.6	87.14	104.7	105.5	105.3	79.0	103.4	116.1	102.2
<b>C</b>	B	N	EX	N	N	N	N	B	N	N	N
<b>ORN</b>	<b>N&gt;Mn&gt;Ca&gt;P&gt;B&gt;Zn&gt;Mg&gt;Fe&gt;S&gt;Cu&gt;K</b> <b>Abajo del Normal    NORMAL    Arriba del Normal</b>										

C=Concentración de muestra, IB= Índice de balance Kenworthy, ORN= Orden de requerimiento nutrimental

El diagnóstico nutrimental Kenworthy clasificó al N, Fe y Mn como deficientes para la variedad Typica, mientras que para Mundo Novo solo el N y Mn; para ambas variedades coincide con el valor del análisis de suelo, en cuanto a la deficiencia de Mn. Por otro lado, el exceso de Fe en el suelo no coincide con la concentración en el tejido vegetal de la variedad Typica, condiciones similares fueron reportadas por Audate (2016). Al respecto, Juárez, Cerdán y Sánchez (2008) mencionan que, aunque en el suelo el Fe se encuentre en niveles altos, factores como el pH, el potencial redox y el tipo de mineral hacen que la solubilidad de éste sea baja y este poco disponible para las plantas. Sin embargo, para la variedad Mundo Novo el Fe foliar resultó normal.

A excepción de Fe, los valores se encuentran en estado normal para Ca, P, Mg, Cu, B, Zn y S para las dos variedades y en exceso el K en el tejido vegetal. Sin embargo, Ca y P se encuentran en baja disponibilidad en suelo debido condiciones de alta precipitación que lixivian al primero y al pH ácido que favorece la fijación del segundo. Para Mg, B, Cu y Zn resultaron en alta a muy alta concentración en el suelo y en el análisis foliar fue determinado como normal.

### 3.5.3 Diagnóstico foliar por índices Desviación óptima porcentual DOP

En el Cuadro 7 se presentan los valores para la concentración nutrimental con que se calcularon los (DOP) (Alcántar & Trejo, 2012). Se puede observar que las dos herramientas de análisis foliares coinciden en los nutrientes que deben aplicarse, aun cuando el ORN por balance Kenworthy es diferente a los resultados por DOP, posiblemente por los diferentes cálculos que se utilizan para la determinación del índice.

Cuadro 7. Índices DOP y requerimientos nutrimentales de variedades Typica y Mundo Novo.

VARIEDAD TYPICA											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- % -----					-----mg kg-1-----					
<b>C</b>	1.23	0.16	4.85	0.91	0.31	0.165	67.7	31.23	13.55	11.4	76
<b>DOP</b>	-56.07	-8.57	136.59	-9	3.33	10	-21.9	-79.18	8.4	8.57	8.57
<b>ORN</b>	<b>Mn&gt;N&gt;Fe&gt;Ca&gt;P&gt;Mg&gt;Zn&gt;B&gt;Cu&gt;S&gt;K</b> <b>Deficiente                      Suficiente                      Exceso</b>										
VARIEDAD MUNDO NOVO											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	----- % -----					-----mg kg-1-----					
<b>C</b>	1.44	0.17	3.68	0.84	0.32	1.65	107.8	28.8	13.3	14.58	73
<b>DOP</b>	-48.57	-2.86	79.51	-16	6.67	10	7.8	-80.8	6.4	38.86	4.29
<b>ORN</b>	<b>Mn&gt;N&gt;Ca&gt;P&gt;B&gt;Zn&gt;Mg&gt;Fe&gt;S&gt;Cu&gt;K</b> <b>Deficiente                      Suficiente                      Exceso</b>										

C=Concentración de muestra, DOP= Índice desviación óptima porcentual, ORN= Orden de requerimiento nutricional.

El diagnóstico nutrimental DOP coincide con Kenworthy en señalar que para Typica existe deficiencia de Mn, N y Fe, también clasifica a Ca y P como

deficiente; para la variedad Mundo Novo Mn, N, Ca, P, B y Zn son deficientes. La deficiencia de Mn es congruente con lo encontrado en el análisis de suelo, deficiencia que se acentúa por exceso de Fe.

Este valor deficiente de Mn coincide con lo encontrado por Pastore (2016) en Brasil, asociándolo a suelos pobres en este elemento y al pH del suelo. Valadares et al. (2013) señalan que N es un nutriente de gran importancia y el de mayor demanda para el cultivo del café porque su deficiencia reduce la producción de granos. Además, sugieren que aplicaciones de N reducen la bianualidad del cultivo.

Los resultados señalan como nivel de deficiencia en ambas variedades a Ca, P, B. Sin embargo, Zn se clasificó diferente para Mundo Novo. En cuanto a los nutrientes en estado de suficiencia se encuentran Mg, Cu y S para Typica y Mundo Novo, pero hubo diferencias en la clasificación de B, Fe y Zn.

El K se clasificó como exceso para ambas variedades, debido a que K fue el macronutriente menos limitante, éste nutriente es altamente demandado por el cultivo del café al igual que N y su provisión en años de baja productividad puede favorecer la recuperación de la productividad del café al año siguiente (Valadares et al., 2013).

De acuerdo con el orden de prioridad para las mismas condiciones de suelo con deficiencia de Ca, P y Mn, la variedad Typica demanda mayor cantidad de N seguida por la de Mn y Fe; en tanto que Mundo Novo por N y Mn. Los requerimientos de ambas variedades parecen ser similares en cuanto a N, Ca, P, Mg, S y K. Los resultados preliminares indicaron que el productor ha fertilizado ambas variedades de cafeto con una dosis estándar, cuando se precisa fertilizar de acuerdo con los requerimientos para cada variedad, lo que repercutirá en las propiedades físicas y organolépticas del café (Rosas et al., 2008 y Santoyo et al., 1996).

### 3.5.4 Evaluación de las variables respuesta.

Los resultados para las variables peso, número de frutos y el volumen de los frutos se analizaron bajo los supuestos de normalidad de los errores e igualdad de varianzas dónde se utilizó la prueba de Bartlett y la de Shapiro-Wilk. La comparación de medias para evaluar diferencias entre dos grupos se obtuvo mediante la prueba t-Student y probar la hipótesis.

Dado que el nivel de significancia observado asociado a cada una de las pruebas es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias y se concluye que el efecto del fertilizante es igual en las dos variedades de café evaluadas. En el Cuadro 8 se presenta el resultado para la variable peso. El resultado muestra que no existe diferencia entre las medias de las variedades de café evaluadas, con una  $P > 0.05$ , por tanto, no hay evidencia estadística que el aprovechamiento de la fertilización fue mejor en una u otra variedad. Aun cuando la media del peso de Mundo Novo presentó 217.6 g en comparación con Typica.

Cuadro 8. Prueba t-Student para las variables evaluadas.

<b>Variable</b>	<b>Variedad</b>	<b>Media</b>	<b>P&gt; T </b>
Peso de cereza (g)	Mundo Novo	217.62 a	0.4896
	Typica	168.69 a	
Volumen cereza (ml)	Mundo Novo	217.07 a	0.6243
	Typica	187.07 a	
Número de frutos	Mundo Novo	160.20 a	0.6132
	Typica	137.33 a	

Valores con la misma letra por cada variable son iguales estadísticamente  $P \leq 0.05$ .

Se puede observar con los valores de confiabilidad utilizados y asumiendo la igualdad de varianzas se concluye que las medias de volumen de cereza son iguales para Mundo Novo y Typica (Cuadro 8).

Con respecto a la variable número de frutos, en el mismo cuadro se observa la comparación de medias indica que no hubo diferencias y por lo tanto el efecto del fertilizante fue el mismo entre una y otra variedad.

De acuerdo a la cantidad de café cereza cosechado en este ciclo se estimó una producción de 8 Qq de café por hectárea de la variedad Mundo Novo. Se puede observar una producción baja de las plantas evaluadas ya que la producción promedio de esta variedad tiene una capacidad de producción de 5 kg por planta y en este estudio se obtuvo aproximadamente 1.0 kg de cereza por planta (Zamarripa & Escamilla, 2002)

Para la variedad Typica la cantidad de café cereza producido por planta fluctuó de 900 g a 1 kg en promedio. En este ciclo se estimó una producción de 4 Qq de café por hectárea. Son producciones bajas, de acuerdo con las características de producción que son en promedio de 4 kg de cereza por planta (Zamarripa & Escamilla, 2002). Estos resultados coinciden con lo reportado por López et al. (2016), en un estudio dónde la variedad Typica tuvo baja producción de fruta con respecto a otras variedades evaluadas.

La baja productividad de las dos variedades en el ciclo 2017-2018, se atribuye a la edad de las plantas, puesto que son cafetos avejentados con una edad promedio de 40 años, por lo que se ha mantenido con recepas con el objetivo de hacer productiva la finca, sin embargo, a medida que la planta envejece su capacidad de producción es cada vez menor y en los cafetales envejecidos se acentúa la bianualidad de la producción (Arcila, 2007).

En el cultivo del café al igual que en los cultivos perennes en general, se presenta una producción bienal. O sea que las plantas producen mayor cantidad de frutos un año y al siguiente año disminuye la producción. Esto se debe a que la planta tiene que recuperar las reservas alimenticias que utilizó en el año de mayor producción (Virginio & Astorga, 2015). Esta alternancia de cosechas se reflejó en el ciclo anterior que fue más abundante para ambas variedades, además la variedad Typica tiene un acentuado comportamiento bienal (Anzueto, 2014).

Otro factor influyente en la baja productividad es la enfermedad de la roya, durante el ciclo de evaluación a pesar de la carga de frutos en los cafetos, no lograron madurar debido a que la enfermedad causa el ennegrecimiento de los

frutos como consecuencia de la defoliación de las plantas, por lo tanto, no hay carbohidratos y nutrientes para completar el desarrollo y maduración adecuada de los frutos (Ovando, Martínez, López & Méndez, 2018).

Al respecto, Chaves (2013) menciona que la predisposición de las hojas al ataque de la roya del café varía en función de la producción (carga fructífera), probablemente debido a que durante el periodo de fructificación migran compuestos fenólicos de las hojas hacia los frutos.

### **3.6 Conclusiones**

De acuerdo con el orden de prioridad para las mismas condiciones de suelo, las plantaciones mostraron deficiencias de Ca, P y Mn, en tanto que los foliares indicaron que la variedad Typica demanda mayor cantidad de N seguida por la de Mn y Mundo Novo por N seguida de Mn. Los requerimientos de ambas variedades parecen ser similares en cuanto a N, Ca, P, Mg, S y K. Resultados que deben tomarse en cuenta en la nutrición de los cultivares para mejorar sus propiedades físicas y organolépticas.

A pesar de que se corrigieron las deficiencias nutrimentales detectadas a través de la fertilización, los resultados mostraron que no existen diferencias estadísticas entre la variedad Typica y Mundo Novo para las variables evaluadas, aunque Mundo Novo tuvo mayor carga de frutos, el incremento en rendimiento de los cafetos fue mínimo de acuerdo a la productividad promedio de las variedades, estos resultados se explican por la edad de la plantación y la enfermedad de la roya, sin embargo, se plantea la situación de poder obtener resultados tangibles en el próximo ciclo de cosecha.

### 3.7 Literatura citada

- Anzuetto, F. (2014). Variedades de café. Boletín Técnico. Centro de investigaciones en café- ANACAFE. Guatemala.
- Alcántar González, G. & Trejo-Téllez L. I. (coords.). 2012. Nutrición de cultivos. Colegio de Posgraduados y Mundi-Prensa. México, D. F. Reimpresión del 2013.
- Álvarez-Sánchez M. E. Marín-Campos A. 2012. Manual de Procedimientos Analíticos de Suelo y Planta. Laboratorio de suelos, Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México.
- Arcila, P. J. (2007). Renovación y administración de los cafetales para estabilizar la producción de la finca. En: Arcila Pulgarín, J., Farfán, F., Moreno, A.B., y Salazar, L.F. Sistemas de producción de Café en Colombia. (145-159). CENICAFE. Chinchiná, Colombia.
- Castillo, M. L. E. (2011). Introducción al SAS para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Chaves Arias, V. M. (2013). Relación de la carga fructífera y la nutrición en la susceptibilidad del café al ataque de la Roya. Revista Informativa. 2013.
- Audate, E. (2016). Diagnóstico nutrimental de tres sistemas agroforestales de *Coffea arabica* L. Cultivado bajo sombra Veracruz, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México.
- Gómez González, R., Palma López, D. J., Obrador Olan, J. J., & Ruiz-Rosado, O. (2018). Densidad radical y tipos de suelos en los que se produce café (*Coffea arabica* L.) en Chiapas, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(14), 203-215.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2004) Guía para la interpretación de Cartografía edafología. INEGI. México. En: <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EdafIII.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Coatepec, Veracruz de Ignacio de la Llave. INEGI. México. En: [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/30/30038.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30038.pdf)
- Instituto Mexicano del Café. (1990). El cultivo de Café en México. México: Editorial LA FUENTE.

- Juárez, M., Cerdán, M., & Sánchez-Sánchez, A. (2008). Hierro en el sistema suelo planta. *Depto. Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante*, 1-22
- Kenworthy, A. L. (1973). Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. *Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, WI*, 381-392.
- Lee-Rodríguez V., Esponda-Gálvez. F. R. (2006). Caracterización edafonutricional del sistema de producción tradicional y orgánico del café (*Coffea Arábica* L.) cv Bourbon. *Quehacer científico en Chiapas*. I, 12-20.
- López Báez, W., Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., & López Martínez, J. (2016). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 607-618.
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 297-304.
- Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Almaguer-Vargas, G., Barrientos-Priego, A. F., & García-Mateos, R. (2007). Estándares nutrimentales para aguacatero "hass". *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 103-108.
- Ovando Cruz, M. E., Martínez Bolaños, M., López Morgado, R., & Méndez López, I. (2018). Establecimiento de plantaciones de café *Coffea arábica* L. con genotipos tolerantes a roya anaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk y Broome) en el estado de Oaxaca. INIFAP.
- Rosas Arellano, J., Escamilla Prado, E., & Ruiz Rosado, O. (2008). Relación de los nutrimentos del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra latinoamericana*, 26(4), 375-384.
- Sadeghian, S. (2016). *La acidez del suelo, una limitante común para la producción de café*. Avances Técnicos. Centro Nacional de Investigaciones de café-CENICAFE. Colombia.
- Salomón H., J. (2001). Suelos: Nutrición y fertilización del café. *In: Manual de cafecultura*. 3ª ed. Instituto Hondureño del café. pp: 89-111.
- Santoyo, V. H., Díaz, S., Escamilla, E., & Robledo, J. D. (1996). *Factores agronómicos y calidad del café*. (Folleto técnico). México. Confederación de Productores de Café-Universidad Autónoma Chapingo.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Norma Oficial Mexicana NOM-021- RECNAT-2012.

- Snoeck, J., & Lambot, C. (2009). Crop maintenance. Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders and researchers, 250-273
- Suárez Salazar, Juan Carlos, Rodríguez Burgos, Engelberto, & Duran Bautista, Ervin Humprey. (2015). Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronómica*, 64(4), 342-348. <https://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.44641>
- Ramírez, D. Federico. (2009). Fertilización como medio de aumentar la productividad y calidad en café. Curso internacional de nutrición y fertilización del cultivo del café. Disponible en: <http://infocafes.com/descargas/biblioteca/302.pdf>
- Regalado, O. A. (2006). ¿Qué es la calidad del café?. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Valadares, S. V., Neves, J. C. L., Rosa, G. N. G. P., Martinez, H. E. P., Venegas, V. H. A., & de Lima, P. C. (2013). Produtividade e bienalidade da produção de cafezais adensados, sob diferentes doses de N e K. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(3), 296-303.
- Virginio Filho, E. D. M., & Astorga Domian, C. (2015). *Prevención y control de la roya del café: manual de buenas prácticas para técnicos y facilitadores*. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Wintgens, J. N. (2004). Factor influencing the quality of Green coffee. In: J. A. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (Pp.789-809) Weinheim, Germany. Wiley-VHC.
- Zamarripa, C. A., & Escamilla, E. (2002). *Variedades de café en México origen, características y perspectivas*. (Folleto técnico). México. Universidad Autónoma Chapingo-Fundación Produce Veracruz.

### 3.8 Anexos

Cuadro 9. Variables evaluadas en plantas de café variedad Mundo Novo.

<b>No. Planta</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>No. Frutos</b>
1	0.052	50	34
2	658	630	459
3	526	490	329
4	390	375	265
5	242	188	201
6	0.090	82	56
7	0.038	35	37
8	170	162	131
9	192	137	137
10	0.098	92	63
11	142	130	87
12	406	385	245
13	100	80	65
14	326	310	231
15	112	110	63

Cuadro 10. Variables evaluadas en plantas de café variedad Typica

<b>No. Planta</b>	<b>Peso (G)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>No. Frutos</b>
1	214	205	166
2	0.052	50	36
3	312	308	104
4	122	125	139
5	134	135	105
6	0.078	70	55
7	158	150	119
8	316	310	229
9	0.036	34	24
10	160	150	100
11	134	125	94
12	352	350	261
13	628	608	498
14	0.098	96	56
15	0.096	90	74

## Test de Normalidad de los errores

Procedimiento UNIVARIATE  
Variable: error

### Momentos

N	30	Pesos de la suma	30
Media	0	Observaciones de la suma	0
Desviación típica	188.031229	Varianza	35355.7429
Asimetría	0.93594848	Curtosis	0.35584774
Suma de cuadrados no corregidos	1025316.54	Suma de cuadrados corregidos	1025316.54
Coefficiente de variación	.	Media de error estándar	34.3296485

### Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	0.0000	Desviación típica	188.03123
Mediana	-34.6907	Varianza	35356
Moda	-34.6907	Rango	676.88987
		Rango intercuantil	311.90400

### Tests para posición: $\mu_0=0$

Test	-Estadístico-	-----P-valor-----
T de Student	t 0	Pr >  t  1.0000
Signo	M -4	Pr >=  M  0.2005
Puntuación con signo	S -28.5	Pr >=  S  0.5666

### Tests para normalidad

Test	--Estadístico--	-----P-valor-----
Shapiro-Wilk	#11 X 0.904443	Pr < W 0.0108
Kolmogorov-Smirnov	D 0.151766	Pr > D 0.0774
Cramer-von Mises	W-Sq 0.122679	Pr > W-Sq 0.0529
Anderson-Darling	A-Sq 0.832752	Pr > A-Sq 0.0286

Sistema SAS  
Procedimiento GLM

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza Peso

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr>ChiSq
Trat	1	0.3073	0.5793

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza Vol

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr>ChiSq
Trat	1	0.3859	0.5344

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza Numg

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr>ChiSq
Trat	1	0.026	0.8719

Sistema SAS  
Procedimiento GLM

Nivel trat	-----Peso-----		-----Vol-----		-----Numg-----		
	N	Media	Dev std	Media	Dev std	Media	Dev std
A	15	217.61853	205.2038	217.0667	179.2546	160.200000	125.156
B	15	168.69067	176.4321	187.0667	151.3253	137.33333	119.7865

## Prueba T-Student

### The TTEST Procedure

#### Statistics

Variable	VARIED	Lower CL		Upper CL		Lower CL		Upper CL	
		N	Mean	Media	Mean	Std Dev	Std Dev	Std Dev	Std Err
PESO	A	15	103.98	217.62	331.26	150.24	205.2	323.63	52.983
PESO	B	15	70.986	168.69	266.4	129.17	176.43	278.25	45.555
PESO	Diff (1-2)		-94.2	48.928	192.06	151.86	191.36	258.8	69.875
VOL	A	15	117.8	217.07	316.33	131.24	179.25	282.7	46.283
VOL	B	15	103.27	187.07	270.87	110.79	151.33	238.66	39.072
VOL	Diff (1-2)		-94.07	30	154.07	131.64	165.88	224.34	60.57
NUNG	A	5	90.891	160.2	229.51	91.63	125.16	197.38	32.315
NUNG	B	15	70.998	137.33	203.67	87.699	119.79	188.92	30.929
NUNG	Diff (1-2)		-68.76	22.867	114.49	97.214	122.5	165.68	44.731

#### T-Tests

Variable	Método	Variances	DF	Valor t	Pr >  t
PESO	Pooled	Equal	28	0.70	0.4896
PESO	Satterthwaite	Unequal	27.4	0.70	0.4897
VOL	Pooled	Equal	28	0.50	0.6243
VOL	Satterthwaite	Unequal	27.2	0.50	0.6244
NUNG	Pooled	Equal	28	0.51	0.6132
NUNG	Satterthwaite	Unequal	27.9	0.51	0.6132

#### Equality of Variances

Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
PESO	Folded F	14	14	1.35	0.5794
VOL	Folded F	14	14	1.40	0.5345
NUNG	Folded F	14	14	1.09	0.8720

## 4. CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DEL CAFÉ ARÁBIGO EN COATEPEC, VERACRUZ<sup>5</sup>

### 4.1 Resumen

En respuesta a la necesidad de generar alternativas que aseguren la calidad y diferenciación del café en Coatepec, el presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar la calidad física y sensorial de dos variedades arábicas, Typica y Mundo Novo, en Coatepec, Veracruz, México. Once muestras de café cereza se procesaron con beneficio húmedo para evaluar sus características físicas y sensoriales. Estas últimas conforme a las normas internacionales de la SCAA (Specialty Coffee Association of America). De acuerdo con la prueba t de Student, los resultados indican que no existen diferencias significativas entre ambas variedades respecto a la calidad física como tamaño, forma y defectos del grano. Respecto a las características sensoriales, éstas se analizaron mediante la técnica de componentes principales y regresión lineal múltiple. Los resultados muestran que dos de los siete componentes explican el 73.67% de variabilidad total. El primero explica el 47.24% y se correlaciona negativamente con las variables sabor, sabor residual, acidez, y apreciación global. Mientras que, el segundo explica el 26.43% y se correlaciona positivamente con las variables cuerpo y balance. De acuerdo con el modelo de regresión múltiple, el aroma, sabor, cuerpo, balance y apreciación global son las variables más importantes para definir la calidad total del café. Finalmente, los resultados indican que no hubo diferencias significativas en relación con la calidad física del grano y en taza entre las variedades, ya que ambas obtuvieron puntajes de 80 puntos y se consideran cafés de muy buena calidad.

**Palabras clave:** Typica, Mundo Novo, calidad sensorial del café.

---

<sup>5</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Luisa Amador Atlahua.

Director de tesis: Dr. Ranferi Maldonado Torres

## PHYSICAL AND SENSORIAL QUALITY OF ARABIC COFFEE IN COATEPEC, VERACRUZ<sup>6</sup>

### 4.2 Abstract

In response to the need of generating alternatives to ensure the quality and differentiation of coffee in Coatepec, this study was carried out with the objective of evaluating the physical and sensory quality of two varieties of Arabica, Typica and Mundo Novo, in Coatepec, Veracruz Mexico. Eleven samples of cherry coffee were processed through wet benefit to evaluate their physical and sensory characteristics. The latter according to the international standards of the SCAA (Specialty Coffee Association of America). According to the Student's t test, the results indicate that there are no significant differences between the two varieties regarding physical quality such as size, shape and beans defects. Regarding the sensory characteristics, these were analyzed using the technique of principal components and multiple linear regression. The results show that two of the seven components explain 73.67% of total variability. The first explains 47.24% and correlates negatively with the variables taste, residual taste, acidity, and global appreciation. While the second explains 26.43% and correlates positively with the variables body and balance. The multiple regression model indicated that aroma, taste, body, balance and global appreciation are the most important variables to define the total quality of coffee. Finally, the results indicate that there were no significant differences in relation to the physical quality of the beans and in the cup between the varieties, since both obtained scores of 80 points and are considered to be coffee of a very good quality.

**Key words:** Typica, Mundo Novo, sensory quality of coffee.

---

<sup>6</sup> Thesis Master's Degree in Agroforestry for Sustainable Development, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Luisa Amador Atlahua

Thesis advisor: Dr. Ranferi Maldonado Torres

### 4.3 Introducción

El género *Coffea* pertenece a la familia *Rubiaceae* y comprende aproximadamente 70 especies. Las dos principales especies de café cultivadas a nivel mundial son *Coffea arabica* L y *C. Canhophora* var. Robusta. El café Arábigo (*Coffea arabica* L.) es una de las especies principales en la producción de café a nivel mundial, de la cual se han originado variedades que han sido distribuidas y aprovechadas alrededor del mundo. En México, las principales variedades que se cultivan son: Typica, Bourbon, Caturra Rojo, Mundo Novo, Garnica, Catuai, Caturra Amarillo, Catimor, y en menor escala Maragogipe, Pacamara, Villa Sarchi, Sarchimor, entre otras (López, Escamilla, Zamarripa & Cruz, 2016; Regalado, 2006). En los últimos años, se están realizando acciones estratégicas con el fin de promover variedades resistentes a la roya (*Hemileia Vastatrix*), promoviendo Costa Rica 95 y Colombia como cultivos con alto rendimiento y tolerantes a la roya, con el fin de coadyuvar al desarrollo del sector cafetalero ya que el cultivo del café es uno de los principales productos que aportan al PIB Nacional, se reporta una contribución del 0.66 % y 1.34 % de la producción de bienes agroindustriales. Esta actividad productiva emplea a más de 500 000 productores de 14 entidades federativas y 480 municipios; en promedio el consumo per capita es de 1.3 kg por año (ASERCA, 2018). El estado de Veracruz ocupa el segundo lugar a nivel nacional entre los estados productores, pero debido a la crisis en los precios y particularmente a la roya (*Hemileia vastatrix*) el cultivo ha ido a la baja especialmente en cafetales donde las variedades establecidas son las tradicionales; la falta de manejo de cafetales y una nutrición de cafetos inadecuada hacen que no se obtengan buenas cosechas y café de calidad, bajo este esquema, cuya producción promedio de frutos frescos de café (cereza) fue inferior a siete sacos de café oro (menor a 2.0 t ha<sup>-1</sup> de café cereza, equivalente a 8 qq ha<sup>-1</sup>) (Escamilla et al., 2005). La solución que se ha implementado es la introducción de variedades resistentes a la roya, que son catalogadas como cafetos más productivos, pero con menor calidad sensorial. A pesar de ello, los productores están plantando estas variedades con la finalidad de continuar con la actividad cafetera y generar producciones altas,

pero no consideran la calidad organoléptica. Con esta tendencia, las variedades tradicionales están en riesgo porque se están eliminando de las fincas para dar lugar a las que toleran la roya.

Si bien las variedades tradicionales son sensibles a la roya poseen características genéticas como la calidad física del grano, las propiedades químicas y organolépticas de la bebida. Este es uno de los factores que da la calidad del café asociado a las condiciones ambientales, prácticas culturales y forma de cosecha son aspectos que influyen para obtener calidad (Santoyo et al., 1996). Al respecto, Kathurima, Gichimu, Kenji, Muhoho y Boulanger, 2009 mencionan que la variedad del cafeto tiene una función muy importante en cualquier sistema de producción, pues el genotipo y su adaptación al ambiente dependen de la cantidad y la calidad de frutos a cosechar.

La calidad del café se refiere a las características del grano, específicamente a las físicas y organolépticas que inciden en el precio de venta del café. El perfil de taza es una herramienta de gran importancia en la caracterización de los diferentes tipos de café y son clasificados por métodos de evaluación sensorial generalmente basados en los métodos de la Asociación de cafés Especiales de América, por sus siglas en inglés SCAA (Sánchez, Escamilla, Mendoza & Nazario, 2018)

En este sentido, las variedades tradicionales de la especie *coffea arábica* tienen mayores cualidades organolépticas, comparadas con la especie Robusta. Regalado (2006) relaciona el tamaño, color y composición química al genotipo, los granos de *C. arábica* son más grandes que los robusta, sin embargo, Kathurima et al. (2009) sugieren que el tamaño del grano no ha sido relacionado significativamente con la calidad en taza. Las variedades arábicas tradicionales tienen aroma fuerte, acidez alta, cuerpo liviano; contrario a híbridos como Catimor, Arabusta e Icatu, cuyos sabores se han observado como bastante inferiores en comparación con las razas puras de Arábica (Wintgens, 2004). Incluso entre arábicas existen controversias sobre si hay diferencias significativas de la calidad en taza entre variedades, esto pone de manifiesto que son muchos

aspectos los que influyen en la calidad del café, ya que la mayoría de las variedades de *Coffea arabica* en el mundo son parecidas genéticamente, pero morfológicamente presentan diferencias notables y sus frutos contrastan en calidad en pre y post cosecha (Steiger et al., 2002).

En México son pocos los estudios en los que se ha abordado la calidad sensorial del café, y el porcentaje de productores que cosechan cafés de calidad es mínimo. Hay evidencia que ciertas regiones tienen extraordinaria calidad, prueba de ello son los reconocimientos nacionales e internacionales a los que han sido acreedores algunos productores veracruzanos (Sánchez et al., 2018).

Una alternativa a esta crisis de precios bajos, y como oposición a mercados convencionales, es la incursión en mercados especiales, donde los cafés se venden a precios más atractivos para los productores. Sin embargo, el café debe cubrir estándares de calidad para ser clasificados como especiales.

El presente estudio consistió en determinar la calidad sensorial de variedades arábicas tradicionales Typica y Mundo Novo con el fin de obtener información sobre los atributos físicos del grano y organoléptica y comparar la calidad entre ellas.

## 4.4 Materiales y Métodos

### 4.4.1 Procedencia de muestras

Se obtuvieron 11 muestras de café verde de las cuales 4 son Mundo Novo y 7 son Typica precedentes de Coatepec, Ver, las cerezas maduras se beneficiaron por la vía húmeda en la finca y posteriormente se secó y trilló para el análisis físico y sensorial.

### 4.4.2 Análisis físico de las muestras de café verde

Se realizó el análisis físico de las muestras de café en el laboratorio de catación del Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. Se determinó el contenido de humedad, granulometría y la clasificación de defectos de acuerdo con los protocolos SCAA, (2009) y (Kosalos et al., 2009). El cual consiste en que a partir de una muestra de 350 g de café verde se realizan las evaluaciones.

Con una muestra de 200 a 350 g de café verde, dependiendo el peso total de la muestra obtenida, se procedió a determinar el tamaño del grano, para ello se utilizaron tamices de No.15 al 19 y la base (Figura 7) y se clasificaron de acuerdo con el tamaño del tamiz (Cuadro 11). La cantidad de café retenido por cada tamiz se pesó en una balanza, esto se realizó para cada muestra de café verde. Al finalizar se calculó el porcentaje de granos de acuerdo a su tamaño.



Figura 7. Tamizado de muestras de café en zarandas

Cuadro 11. Dimensiones de tamices para clasificar el café verde por tamaño

Número de Tamiz	Dimensiones (mm)
19	7.50
18	7.10
17	6.70
16	6.30
15	6.00
14	5.60
13	5.00
12	4.75

La clasificación por forma consistió en separar los granos triángulo, caracol, planchuela y elefantes (Figura 8). Para la clasificación de defectos, a cada una de las muestras se separaron granos inmaduros, mordidos, quebrados, negros, agrios, etc. Se pesó cada forma o defecto por muestras y se obtuvo el porcentaje con relación al peso total (Figura 9).



Grano triángulo

Grano caracol

Grano Planchuela

Figura 8. Clasificación de formas de grano del café verde.



Figura 9. Selección de defectos del café verde.

Para el porcentaje de humedad se utilizó el analizador halógeno de humedad Mettler Toledo modelo HG63, se molieron 10 gramos de café verde de cada muestra y se colocaron 2.5 g de polvo en el porta muestras de la balanza (Figura 10). Este equipo trabaja según el principio termogravimétrico: Al inicio de la medición el analizador de humedad determina el peso de la muestra, a continuación, la muestra se calienta rápidamente con la unidad de calentamiento halógena y la humedad se evapora. Durante la desecación el equipo calcula continuamente el peso de la muestra y visualiza la pérdida de humedad. Una vez concluida la desecación se visualiza, como resultado final, el contenido de humedad de su muestra.



Figura 10. Analizador halógeno de humedad.

#### 4.4.3 Análisis organoléptico

La catación se realizó en el laboratorio de Ciencia y Tecnología del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba se acuerdo al protocolo de evaluación establecido por la SCAA (2015). La evaluación fue realizada por cuatro catadores profesionales con años de experiencia en la industria del café. Se pesaron de 100 g de café verde y se tostaron durante un tiempo de 12 a 15 minutos aproximadamente en el tostador marca Promor, se obtuvo un tueste claro. Al momento de la evaluación sensorial se pesaron 12 g de grano tostado por taza, posteriormente se molió en un molino de la marca Mahlkonig, con un grado de molido 3 (Figura 11). A continuación, a cada una de las muestras se determinó la fragancia del café molido en seguida a cada taza se agregó agua pura a punto de ebullición (93 °C). Se esperó a que transcurrieran cuatro minutos, tiempo necesario para que los atributos de fragancia, aroma, acidez y cuerpo se integren completamente, pasado el tiempo se determinó el aroma y se realizó la limpieza de taza, lo cual es retirar con una cuchara la espuma que se forma en la superficie de la bebida y posteriormente se determinó la acidez, cuerpo, uniformidad, balance, dulzura de la bebida. El valor de evaluación de atributos sensoriales fue de 0 a 10, donde 0 es el más bajo y 10 el más alto.



Figura 11. Tostador y molino de café.

Las cataciones se realizaron por mesa, cada mesa con 3 muestras de cinco repeticiones por muestra, donde cada catador dio su calificación de cada una de las características evaluadas. Al final se hizo un promedio de las calificaciones de los catadores (Figuras 12 y 13).



Figura 12. Proceso de catación de muestras de café.



Figura 13. Determinación de atributos sensoriales de la bebida de café.

#### **4.4.4 Análisis de datos**

Los datos correspondientes a la calidad física del grano se analizaron mediante la prueba de Bartlett y Shapiro Wilk, para comprobar los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de los errores. Adicionalmente se aplicó la prueba de Welch (Ortiz y Moreno, 2011) en casos donde no se cumplió la homogeneidad de varianzas. Posteriormente se aplicó la prueba t-Student para la comparación de medias de las variables. Los datos fueron analizados en el programa estadístico R versión 3.5.2.

Se utilizó la prueba “d” de Cohen, también llamada tamaño del efecto (TE) que se define como el grado de generalidad que posee la superioridad de un tratamiento A sobre B en la población de la que se obtiene la muestra. La interpretación de la “d” de Cohen se realiza correlacionando su valor con una escala cualitativa que incluye seis niveles de fuerza de concordancia (“pobre”, “leve”, “aceptable”, “moderada”, “considerable” y “casi perfecta”), simplificando la comprensión del mismo (Cerdeira & Villarreal, 2008; Ledesma, Macbeth & Cortada de Kohan, 2008).

Para el análisis de datos de la evaluación sensorial se utilizó el análisis de componentes principales, la regresión con componentes y las pruebas de Shapiro Wilk para la normalidad de los errores. También se realizó la regresión múltiple y la prueba de homocedasticidad de varianzas de Breusch Pagan para validar el modelo (Ramachandran & Tsokos, 2009). Se utilizó el programa estadístico R versión 3.5.2.

## 4.5 Resultados y discusión

### 4.5.1 Análisis físico del café verde

Los datos de tamaño de grano de las variedades Mundo Novo y Typica dan la impresión de que el tamaño de la primera variedad es menor que el de la segunda. Lo anterior se refuerza al comparar los valores medios de diámetro mediante una malla o tamiz del número 19. Es decir, la  $\bar{y}_1 = 0.057$  de la primera variedad contra la  $\bar{y}_2 = 0.23$  de la segunda variedad. Por tanto, puede pensarse que el nivel medio del tamaño de grano en el tamiz 19 de la variedad Mundo Novo es similar al de la variedad Typica. Esto se puede expresar formalmente, de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

En dónde  $\mu_1$  es el valor medio del tamiz 19 de la variedad Mundo Novo; mientras que  $\mu_2$  es el valor medio del tamiz 19 de la variedad Typica. La afirmación  $H_0$  se conoce como hipótesis nula, mientras que  $H_1$  se conoce como hipótesis alterna. La hipótesis alterna propuesta es una hipótesis alterna bilateral, ya que puede ser verdadera sí  $\mu_1 < \mu_2$  o bien sí  $\mu_1 > \mu_2$ . Al efectuarse dicha prueba de hipótesis se consideró un nivel de significancia  $\alpha=0.05$ .

De acuerdo con el Cuadro 12, el nivel de significancia asociado a dicha prueba es menor o igual que 0.05, por lo que debe rechazarse  $H_0$  y concluir que existe diferencia en el nivel medio del tamaño de grano de las dos variedades de café. Cabe mencionar que de acuerdo con la prueba de Cohen, Ledesma et al. (2008) esta diferencia entre las medias de las variedades es grande, ya que cerca del 59% de la variedad Typica está por encima de la media de la variedad Mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 86 de la variedad Typica, es decir, se sobreponen en 41%.

Respecto al tamiz 18, existe diferencia en el nivel medio del tamaño de los granos de las variedades de café, de ahí que la prueba de Cohen clasifica esta diferencia como grande, por lo tanto, cerca del 65% de la variedad Typica está por encima

de la media de Mundo Novo y su media se ubica en el percentil 90 de Mundo Novo. Es decir, se sobreponen en 35%.

La prueba t de Student, resultó sin significancia para el promedio del grano retenido en el tamiz 17, sin embargo, respecto al tamaño del efecto grande, ya que cerca del 52% de la variedad Typica está por encima de la media de Mundo Novo y su media se ubica en el percentil 82 de Mundo Novo, significa que se sobreponen en 48%. Concerniente al tamiz 16 no existe diferencia entre las medias de las variedades de café, de ahí que el efecto tamaño del efecto sea pequeño, debido a que cerca del 27% de la variedad Typica está por encima de la media de Mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 66 de la variedad mundo Novo. Es decir, se sobreponen en 73%.

En cuanto al tamiz 15, de acuerdo con el resultado de la prueba t, no existen diferencias estadísticas significativas entre medias de las variedades, pero se obtuvo mayor cantidad de granos de este tamaño para Mundo Novo; de acuerdo a la prueba de Cohen, el efecto es grande, ya que cerca del 47% de la variedad Typica está por encima de la media de mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 79 del mundo Novo. Es decir, se sobreponen en 53%. Del mismo modo, no existe diferencia entre las medias para el tamaño de grano que corresponde al tamiz 14. Según la prueba de Cohen, el tamaño del efecto para esta variable en las dos variedades es mediano, de este modo, cerca del 47% de la variedad Typica está por encima de la media de mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 79 de Mundo Novo. Es decir, se sobreponen en 73%.

Finalmente, en el tamiz 13, el resultado de la prueba t mostró que las medias del tamaño entre variedades no difieren. En consecuencia, el tamaño del efecto para esta variable es clasificada como despreciable. Cerca del 8% de la variedad Typica está por encima de la media de Mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 54 del Mundo Novo. Es decir, se sobreponen en 92%.

De acuerdo con estos resultados se puede observar que la variedad Typica, retuvo más grano en el tamiz 18 y 19 mientras que Mundo Novo fue inferior. A su vez, Mundo Novo tuvo el 50% de grano retenido en el tamiz 16, cuyo tamaño es clasificado como mediano. Al respecto López et al. (2016) mencionan que el tamaño del grano es una característica determinante por los compradores al mayoreo, los europeos prefieren semillas más grandes ya que la preparación europea corresponde a la criba 17 y 18; mientras que la preparación americana es con las cribas 15 y 16.

En otro estudio, Lara (2005) encontró un efecto positivo sobre la calidad física en lotes de café ubicados entre los 630 a 1350 msnm; una relación positiva entre granos grandes (Tamices 16-20) con mayores niveles de rendimiento, fertilización y altitud, mientras que los granos pequeños ( $T > 16$ ) se correlacionaron negativamente. Al respecto Vaast et al. (2005) mencionan que el tamaño de grano aumenta mientras que el porcentaje de defectos disminuye al aumentar la altitud.

Cuadro 12. Promedios de la granulometría del café verde de Typica y Mundo Novo.

Variedad	Variable	Media (g)	$P >  T $ *	d de Cohen	Tamaño del efecto
Mundo Novo	Z19	0.057 b	0.050	1.1209	Grande
Typica		12.4 a			
Mundo Novo	Z18	0.12 b	0.032	1.2849	Grande
Typica		28.6 a			
Mundo Novo	Z17	20.72 a	0.187	0.8958	Grande
Typica		14.9 a			
Mundo Novo	Z16	35.22 a	0.399	0.4191	Pequeño
Typica		26.45 a			
Mundo Novo	Z15	18.71 a	0.213	0.8398	Grande
Typica		11.43 a			
Mundo Novo	Z14	8.48 a	0.242	0.7852	Mediano
Typica		4.86 a			
Mundo Novo	Z13	1.07 a	0.876	0.1009	Despreciable
Typica		0.96 a			
Mundo Novo	% Humedad	9.39 a	0.656	0.2891	Pequeño
Typica		9.57 a			

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales  $p < 0,05$

Los resultados muestran que las variedades Typica y Mundo Novo tienen tamaño de grano superior al tamiz 15, y pueden ser consideradas como buenos materiales en el mercado. Por otro lado, la clasificación por tamaño de grano tiene importancia para la calidad física del café, en consecuencia, la sola granulometría del café no es un criterio de calidad suficiente y, por tanto, se requiere evaluar el aspecto y el color de las almendras, buscando un producto de alta calidad ya sea para consumo local o para exportación (Marín, Arcila, Montoya & Oliveros 2003).

Finalmente, el Cuadro 12 muestra que la variable humedad del grano no es diferente estadísticamente en una y otra variedad según la prueba t. De acuerdo con la prueba de Cohen, el tamaño del efecto es pequeño, ya que cerca del 21 % de la humedad de grano de la variedad Typica está por encima de la media de la variedad Mundo Novo y su media se ubica en el percentil 62 de Mundo Novo, es decir se sobreponen en 79 %. El contenido de humedad del grano en promedio fue de 9 para las dos variedades, lo cual indica un contenido bajo de acuerdo a lo estipulado por la SCAA para la comercialización del café que establece un rango del 10 al 12%, mientras que la Green Coffee Association of New York (GCA) considera 9 a 13%.

Reh, Gerber y Vuataz (2006) mencionan que el café verde se comporta de manera muy diferente en contenidos de agua altos y bajos ocasionando crecimiento microbiano, formación de micotoxinas y alterando la calidad sensorial en taza debido a la generación de sabores desagradables por lo que un contenido de agua que oscila entre el 8 y 12.5% se considera adecuado para evitar los problemas mencionados. Además, un grano que no ha sido secado adecuadamente desarrolla mal olor, mal sabor, los granos se aplastan en la trilladora y durante la tostación pierden mucho peso, por lo tanto, a menor cantidad de agua disponible en los granos de café, conocida como actividad del agua, se conservará su calidad un mayor tiempo (Puerta, 2006).

En la clasificación respecto a la forma de los granos, las dos variedades produjeron planchuela, caracol, y triángulo en mayores porcentajes en

comparación con monstruos, conchas y quebrados como lo muestra el Cuadro 13. Se observa diferencias con una  $p > 0.05$  en la prueba t, para el tipo de grano planchuela y caracol con respecto a las variedades evaluadas. De acuerdo con la prueba de Cohen, esta diferencia es grande, para el tipo planchuela, cerca del 79 % de la variedad Typica está por encima de la media de la variedad Mundo Novo y su media se ubica en el percentil 97.1 de la variedad Typica, es decir, las medias se sobreponen en un 21 %.

De acuerdo a los requerimientos en el mercado la forma plano-convexa se considera normal y se denomina planchuela (Wintgens, 2004). Se puede observar que la variedad Typica, produjo el 79.35 % de granos planos. Estos resultados coinciden con lo encontrado por López et al. (2016), donde el promedio de planchuela para las variedades evaluadas fue de 79.19, sin embargo, no obtuvieron diferencias significativas a un 95 % de confiabilidad.

El grano tipo caracol obtuvo un promedio de 34.54 para la variedad Mundo Novo, y 12.04 para Typica, la prueba de Cohen clasifica el efecto de las diferencias entre variedades como grande. Dónde cerca del 81% de la variedad Typica está por encima de la media de Mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 97.7 de la variedad Typica, es decir, se sobreponen en 19%. Los promedios encontrados para la variedad Typica coinciden con lo reportado por López et al. (2016) con promedios similares en diferentes variedades.

Cuadro 13. Promedios para la clasificación de forma de grano.

Variedad	Variable	Media (g)	P> T *	d de Cohen	Tamaño del efecto
Mundo Novo	Planchuela	55.86 b	0.0126	1.9456	Grande
Typica		79.35 a			
Mundo Novo	Caracol	34.54 a	0.0104	2.0208	Grande
Typica		12.04 b			
Mundo Novo	Triángulo	2.72 a	0.854	0.1186	Despreciable
Typica		2.50 a			
Mundo Novo	Monstruos	0.53 a	0.8214	0.1457	Despreciable
Typica		0.47 a			
Mundo Novo	Conchas	0.15 a	0.4534	0.4911	Pequeño
Typica		0.08 a			
Mundo Novo	Quebrado	0.63 a	0.2511	0.7687	Mediano
Typica		1.20 a			
Mundo Novo	Defecto total	5.27 a	0.3192	0.6608	Mediano
Typica		4.07 a			

Valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes  $P>0.05$

En la forma triangular no se observaron diferencias entre las medias de las variedades, con una  $p>0.05$  en la prueba t. La prueba de Cohen mostró un efecto con valor despreciable, donde cerca del 8% de la variedad Typica está por encima de la media de Mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 54 de la variedad Typica, es decir, se sobreponen en 92%. Estos resultados coinciden con lo encontrado por López et al. (2016) en variedades de café arábica. Cabe mencionar que este tipo de anomalía surge cuando en una cereza se desarrollan tres semillas y en el perfil de taza podrían otorgar un sabor ocasionado por grano inmaduro, aunque no hay evidencia o muy poca de que tenga un efecto negativo en la calidad de la bebida (Wintgens, 2004b).

Bajo el mismo nivel de significancia en la prueba t, no hubo diferencias para los promedios de las anomalías: monstruos y conchas. La prueba de Cohen clasificó el efecto como despreciable para monstruos y pequeño para conchas.

En cuanto a los defectos, las muestras analizadas solo presentaron defectos secundarios, de los cuales negro parcial, agrio parcial, flotes y brocado leve fueron los más encontrados en las muestras. En esta variable, defecto total, tampoco existió diferencia significativa entre variedades. La prueba de Cohen

mostró un efecto mediano, dónde cerca del 43% de la variedad Typica está por encima de la media de Mundo Novo, y su media se ubica en el percentil 76 de Mundo Novo. Es decir, se sobreponen en 57%. Los porcentajes encontrados de defectos coinciden con Marín, Arcila, Montoya y Oliveros (2003) quienes encontraron el menor porcentaje de almendras con defectos en muestras colectadas en estado maduro.

El Cuadro 13, muestra el total de defectos para Typica y Mundo Novo con porcentajes promedio de 4.05 y 5.27 respectivamente. En la clasificación del café verde que establece la SCAA, Kosalos et al. (2009) mencionan que 3 granos parcial negro o agrio equivalen a 1 imperfección completa. En este sentido, la variedad Typica obtuvo 1.5 defecto de negro parcial y Mundo Novo 1. Y para el defecto agrio parcial, Mundo Novo 10 y Typica 6 defectos completos de acuerdo con el número de granos encontrados con estas características en las muestras. Los demás defectos secundarios no fueron representativos, encontrándose de 1 a 2 defectos de brocado leve y flotes.

#### **4.5.2 Calidad sensorial del café**

Los datos de la evaluación sensorial fueron analizados mediante la técnica de análisis de componentes principales (ACP) ya que es una herramienta exploratoria que extrae los factores que explican mejor la dimensión analizada, en este caso la calidad (Johnson, 2000).

Debido a que no existió variabilidad entre variedades Typica y Mundo Novo, se procedió a identificar cuáles son los factores que explican mejor la calidad de la bebida, las cuales son evaluadas por medio de la evaluación sensorial e incluye valores cuantitativos en escala 0 al 10 en los siguientes atributos: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, cuerpo, acidez, uniformidad, balance, taza limpia, dulzura.

Al realizar el análisis de componentes principales se discriminaron los valores para uniformidad, taza limpia y dulzura debido a que en estos atributos los catadores calificaron con 10 a todas las muestras y por lo tanto no existió

variabilidad entre los datos. Esto fue atribuido a que la bebida de café no tuvo defectos, es decir, sabores negativos o pobres que restan importancia a la calidad de la bebida, además, se notó la consistencia del sabor de las diferentes tazas de la muestra probada (SCAA, 2015).

Con base a la información del Cuadro 14 el cual resume el análisis, se observa la desviación estándar de cada componente principal; la proporción de la varianza que explica cada componente y su suma es igual a 1. La proporción acumulada es la suma de todas progresivamente.

Cuadro 14. Varianza explicada por los componentes.

	<b>Comp1</b>	<b>Comp2</b>	<b>Comp3</b>	<b>Comp4</b>	<b>Comp5</b>	<b>Comp6</b>	<b>Comp7</b>
Desviación Estándar	1.819	1.360	0.845	0.812	0.585	0.315	0.167
Proporción de la varianza	<b>0.472</b>	<b>0.264</b>	0.102	0.094	0.049	0.014	0.004
Proporción acumulada	0.472	0.737	0.839	0.933	0.982	0.996	1.000

Los componentes principales se obtuvieron a partir de la matriz de correlaciones, se eligieron de acuerdo con el Criterio de Kaiser, el cual supone que las variables observables tienen varianza 1. De manera, una componente principal con varianza inferior a 1 explica menos variabilidad que una variable observable. Estudios de Montecarlo prueban que es más correcto el punto de corte  $\lambda^* = 0.7$ , que es más pequeño que 1 (Peña, 2014). Por lo tanto, de acuerdo con el criterio de Kaiser, quedan los 2 primeros componentes principales (Cuadro 15).

Cuadro 15. Varianza de los componentes principales.

Varianza de los componentes	
Componente 1	<b>3.307</b>
Componente 2	<b>1.850</b>
Componente 3	0.714
Componente 4	0.659
Componente 5	0.342
Componente 6	0.099
Componente 7	0.028

Se puede observar que las dos primeras componentes de la proporción acumulada agrupan un 73.67 % de la variación, por lo tanto, hay un 26.33% de variación que se explica en los otros componentes. Es notorio un decrecimiento a partir del tercer valor; es decir, los dos primeros explicaron la mayoría de los componentes. A partir de este criterio se procedió a calcular los vectores del Cuadro 16, donde cada columna representa una combinación lineal (loadings) de las variables originales que proporcionan los componentes principales o factores.

Cuadro 16. Autovectores de los componentes principales.

<b>Carga de los componentes</b>	<b>Comp1</b>	<b>Comp2</b>	<b>Comp3</b>	<b>Comp4</b>	<b>Comp5</b>	<b>Comp6</b>	<b>Comp7</b>
Aroma/fragancia	-0.323	0.251	0.547	0.698	-0.122	-0.015	-0.180
Sabor	-0.442	0.249	0.152	-0.256	0.688	0.411	0.108
Sabor Res	-0.417	0.256	0.270	-0.536	-0.313	-0.540	0.102
Acidez	-0.412	0.072	-0.653	0.363	0.229	-0.441	0.141
Cuerpo	0.255	0.628	-0.207	-0.107	0.100	-0.084	-0.685
Balance	0.240	0.640	-0.120	0.101	-0.243	0.218	0.634
Apreciación global	-0.485	-0.029	-0.348	-0.084	-0.540	0.539	-0.233

El primer componente se encontró explicado por sabor, sabor residual, acidez, y apreciación global con coeficientes de -0.442, -0.417, -0.412 y -0.484 respectivamente. Esto significa que esas variables son las que agrupan la variación en mayor medida, por lo tanto, se consideran relacionadas con “olfato y gusto”. Mientras que en el segundo componente los valores absolutos más altos de sus coeficientes son cuerpo y balance con 0.628 y 0.639 respectivamente.

Dichas variables se relacionan con “consistencia de la taza”. Esta información coincide con lo presentado en la Figura 14.

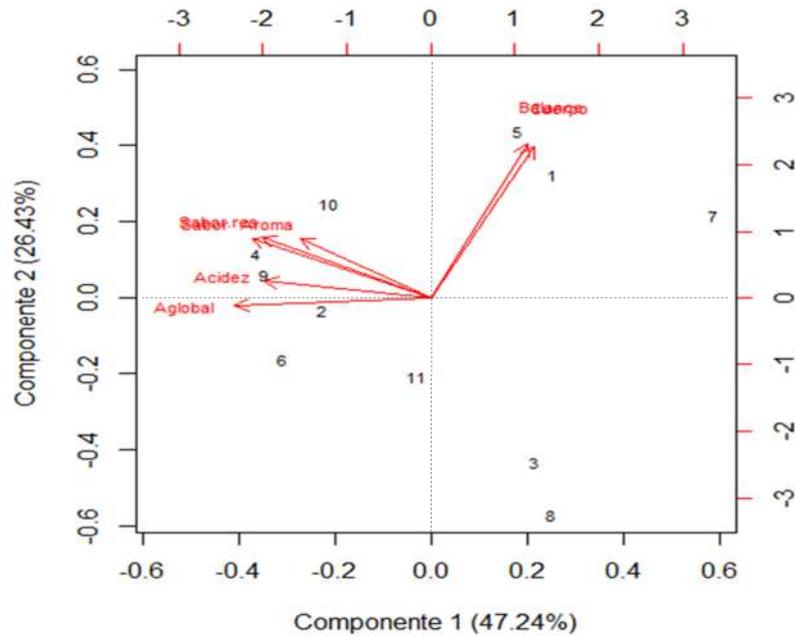


Figura 14. Componentes principales de los atributos sensoriales del café.

El principal resultado es el gráfico de puntuaciones de la figura anterior donde se representan las observaciones o marcas en los ejes formados por las dos primeras componentes o factores principales. La nube de puntos-individuos está centrada en el origen, puesto que se han centrado los datos iniciales. Los puntos-variables pueden, como en este caso, estar situados todos en el mismo lado, por ejemplo, el componente  $1 < 0$ , es decir,  $Comp1 < 0$ . Esto se debe a que las características están correlacionadas negativamente, y cuando un individuo (marca) toma valores altos en una característica, también los obtiene altos en las otras.

Se observa que las coordenadas de los puntos-variables son inferiores en valor absoluto a 1. Ello obedece a que las variables han sido tipificadas, con lo cual su distancia al origen es la unidad, y al proyectarlas sobre los ejes se puede producir una contracción y acercarse al origen, pero nunca un alejamiento. El factor o

componente principal es una variable artificial que se obtiene como combinación lineal de las siete características consideradas. Cada una de las marcas toma un valor en esta variable, su proyección. La coordenada de un punto-variable sobre el factor es el coeficiente de correlación de éste (variable artificial) con la variable. Así:

Correlación (Aroma, CP1) = -0.3222702, Correlación (Sabor, CP1) = -0.4421490, Correlación (Sabor.res, CP1) = -0.4166317, Correlación (Acidez, CP1) = -0.4120692, Correlación (Cuerpo, CP1) = 0.2546642, Correlación (Balance, CP1) = 0.2396191, Correlación (Balance, CP1) = 0.2396191, Correlación (Apreciación global, CP1) = -0.4847597

El componente se interpreta en función de las variables más correlacionadas con él. Es decir, cuanto más largas sean las flechas rojas, más alto es el valor del coeficiente de correlación de esa variable en ese componente. En consecuencia, se tiene perfectamente la representación gráfica de lo mencionado en el párrafo anterior.

En el componente principal 1, Comp1, las flechas más largas son sabor y apreciación global (en valor negativo), seguido de acidez y sabor residual (en valor negativo), que corresponden con los coeficientes más altos obtenidos para ese componente. En el componente principal Comp2 presenta dos variables, cuerpo y balance, con mayor longitud, que corresponden nuevamente con las dos variables escogidas.

La Figura 15 muestra la representación gráfica de correlaciones de los atributos organolépticos, se observa una alta correlación entre el primer eje y la apreciación global de la bebida. Estos resultados también se pueden apreciar claramente en el diagrama de variables o círculo de correlación Figura 15, izquierda.

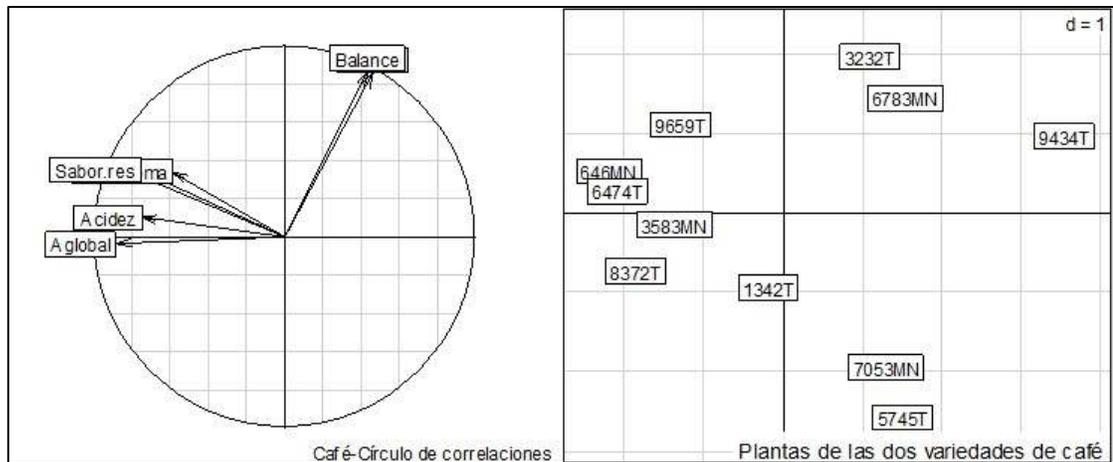


Figura 15. Representación gráfica de correlaciones de los atributos organolépticos

En donde la apreciación global, acidez, sabor residual y aroma tienen coeficientes de correlación negativos; balance y cuerpo una correlación positiva. En el plano factorial de las plantas de café evaluadas se puede observar que la variedad no es determinante en la calidad del café, puesto que en los componentes 1 y 2 se encuentran plantas que corresponden a Typica y Mundo Novo indistintamente, lo cual supone que el factor genético no influye en la calidad en taza, sin embargo, dicha calidad puede estar más relacionada con el terroir, es decir el macro clima, que determina las características sensoriales, incluidas las tipicidades y el contenido químico de los granos (Avelino et al., 2005).

#### 4.5.2.1 Regresión con componentes principales

Para el concepto de calidad del café analizado estadísticamente se recurrió a la regresión con componentes principales y como variable dependiente la calidad del café la cual se tomó como el puntaje final dado por los catadores, el modelo fue el siguiente:

$$\text{Calidad del café} = f(\text{componente 1} + \text{componente 2})$$

El modelo con los componentes introducidos como predictores es capaz de explicar el 97.82 % de la varianza observada ( $R^2$  ajustado = 97.82). Así también, el *p-value* del modelo es significativo ( $9.311 \times 10^{-8}$ ), por lo que el modelo es útil

y existe una relación entre los predictores y la variable respuesta. Por otro lado, el error típico de la estimación (raíz cuadrada de la varianza no explicada resulta ser de 0.1292). El Cuadro 17 muestra el análisis de varianza para el modelo en el que se puede observar una significancia alta de los componentes 1 y 2. Estos resultados indican que los componentes 1 y 2 son muy significativos para el modelo, es decir, suponen que existe un efecto real de las variables para definir la calidad del café.

Cuadro 17. Análisis de varianza de la regresión por componentes principales.

<b>Coeficientes</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Suma de cuadrado medio</b>	<b>f-valor</b>	<b>Pr(&lt;F)</b>
Componente1	1	1.0328	1.0328	61.838	4.941e05***
Componente2	1	6.4826	6.4826	388.136	4.585e-08***
Residuales	8	0.1336	0.0167		

Se realizó la prueba de Shapiro Wilk para la normalidad de los errores, la cual indica con un nivel de significancia de 0.05 que existe evidencia estadística que los errores de los residuos se distribuyen normal ( $p\text{-value} = 0.975 > 0.05$ ) con media cero y matriz de varianza y covarianzas sigma cuadrada. Esto significa que de todos los datos originales que se tienen simplemente se reducen a dos componentes que explican la calidad total del café por la alta correlación entre las variables.

Para determinar si los errores de la regresión no tienen varianza constante, se utilizó la prueba Breusch-Pagan. El software R arrojó un valor p de 0.156 para la prueba. Siguiendo la regla de decisión y probando la hipótesis nula ( $H_0$ : No existe heterocedasticidad), se puede concluir que este valor es mayor a 0.05 (nivel de confiabilidad), lo cual significa que se acepta  $H_0$ , concluyendo que no existe heterocedasticidad, con un posible error de tipo II.

#### 4.5.2.2 Regresión lineal múltiple

Para realizar este análisis, se consideraron las variables de aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, apreciación global, humedad del grano en función del puntaje total que se obtuvo de la catación. A continuación, se muestran los resultados de dicho modelo.

Cuadro 18. Regresión múltiple de las variables de calidad del café.

<b>Coefficientes</b>	<b>Estimador</b>	<b>Error</b>	<b>valor T</b>	<b>Valor P</b>
Intercepto	29.2568	0.9874	29.63	0.00114 **
Aroma/fragancia	1.04898	0.0834	12.58	0.00626 **
Sabor	1.15707	0.1818	6.364	0.02381 *
Sabor residual	0.81421	0.221	3.684	0.06644
Acidez	0.65895	0.3593	1.834	0.20808
Cuerpo	1.19159	0.2051	5.811	0.02836 *
Balance	0.91165	0.0921	9.896	0.01006 *
Apreciación global	1.24861	0.2737	4.562	0.04484 *
Humedad del grano	0.05197	0.0564	0.922	0.45388

Para determinar el mejor modelo se utilizó la técnica estadística step by step. El modelo con todas las variables introducidas como predictoras es capaz de explicar el 99.98 % de la varianza observada. El p-valor del modelo es significativo ( $p$  valor= 0.0001992<0.05), se puede decir que es útil y existe una relación entre los predictores y la variable respuesta (al menos uno de los coeficientes es distinto a 0. El error típico de la estimación (raíz cuadrada de la varianza no explicada resulta ser de 0.0138).

Además, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indica con un nivel de significancia del 0.05 que existe evidencia estadística que los errores de los residuos se distribuyen normal ( $p$ -value=0.3993>0.05) con media cero y matriz de varianza y covarianzas sigma cuadrada. Igualmente, la prueba de homocedasticidad de varianzas de Breusch Pagan indica que no existe evidencia de heterocedasticidad de varianzas ( $p$ -value=0.2951>0.05).

Los resultados del modelo de regresión múltiple del Cuadro 18 indican que aroma/fragancia es la variable más importante, seguida de sabor, cuerpo, balance y apreciación global, es decir, que estas variables son importantes para

definir la calidad total del café, resultados que concuerdan con Burgos, Cano y Salazar (2014) quienes sugieren clara relación entre la calidad de taza en función de sabor, sabor residual y fragancia/aroma. Mendizábal, Samayoa y Rolz (2012) mencionan que el aroma, olor y sabor surgen de las reacciones químicas de los compuestos que originalmente conforman el grano y que se degradan durante el tueste de los granos. En cuanto a los aromas que se pueden destacar en la tostación, Bhumiratana, Adhikari y Chambers (2011) señalan que los más complejos aromas del café son formados en un nivel de tostado medio, un ligero tostado de los granos produce aromas dulces, cacao y de nuez. Y un tostado oscuro se obtienen las características quemadas/acre, cenizas, amargas, áspero, café y notas de tostado.

En general, todas las muestras presentaron buena calidad de acuerdo con el promedio general del puntaje total final el cual es de 80.73. Este promedio se encuentra en el rango de muy bueno y catalogado como café de especialidad 80-84.99, de acuerdo con lo establecido en los protocolos de catación de la SCAA (SCAA, 2015).

Con respecto a los atributos que describen mejor la calidad del café de acuerdo a los resultados del análisis de componentes principales para aroma/fragancia, todas las muestras obtuvieron una calificación en promedio de 7, en cuanto a la acidez de la bebida el promedio fue de 7.2, sabor residual 7.16, apreciación global 7.26, balance y cuerpo 7.42 y 7.3 en cuanto a los atributos de uniformidad, dulzor y taza limpia el promedio fue de 10 respectivamente. Puerta (2000) menciona que la apreciación global es un indicador que permite aceptar o rechazar una muestra de café por su calidad y está relacionada con todas las propiedades percibidas con el sentido del olfato (aromas) y gusto (cuerpo, amargo y acidez).

#### **4.4.2.1 Descriptores aromáticos**

En el Cuadro 19 se muestran las notas aromáticas identificadas por el panel de catación en las muestras de café evaluadas, de acuerdo a lo sugerido por la SCAA. Se puede observar que Typica y Mundo Novo tienen los mismos subgrupos aromáticos lo cual coincide con lo reportado por Hernández (2017)

donde en la región cafetalera de Coatepec el perfil de sabores se cataloga por las notas a chocolate, acompañadas por notas frutales y caramelo.

Estos grupos aromáticos coinciden con lo encontrado por Escamilla (2007) donde las notas más importantes fueron caramelos y chocolates y con menor frecuencia nueces, flores, frutales, fenólicas y pirolíticas en las variedades Typica y Mundo Novo.

Cuadro 19. Notas aromáticas del café en taza.

<b>Variedad</b>	<b>Nota aromática</b>	<b>Subgrupo</b>
Mundo Novo	Miel, Caramelo, Almendras, pan tostado, chocolate, flores, cacahuete, limón, avellanas, mantequilla, nuez, chabacano, manzana, pepino, especiado, chícharo, herbal.	Chocolates, caramelos, floral, frutal, especiado, herbáceo.
Typica	Caramelo, chocolate, limón, miel, herbal, almendras, tostado, nuez, flor de café, manzana, chícharo, guayaba, té de rosas, floral, ave azada, avellanas.	Florales, pirolíticos, chocolates, caramelo, nuez, floral, frutal, herbáceo, azúcar tostado.

Otro dato que resalta el mismo autor es la edad de los cafetales con respecto a las notas aromáticas de nuez y florales las cuales se destacan mejor en cafetos de más 35 años y esto es particular de la finca de estudio donde las plantaciones tienen en promedio de 30 a 40 años de establecidas. En cuanto a las notas aromáticas encontradas y su relación con los compuestos químicos, se dice que los aromas del café a caramelo incluyen principalmente ácidos y furanos; los tostados están conformados por aldehídos, cetonas, furanos y pirazinas, las notas frutales y dulces son aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes y ácidos; los florales son principalmente alcoholes y los olores a ahumado corresponden a fenoles (Puerta, 2011).

#### 4.6. Conclusiones

El tamaño del grano verde tuvo diferencias significativas entre variedades, destacando la variedad Typica la cual retuvo más grano en el tamiz 18 y 19 mientras que Mundo Novo fue inferior. A su vez, Mundo Novo tuvo el 50% de grano retenido en el tamiz 16, cuyo tamaño fue clasificado como mediano. En cuanto a defectos la variedad Typica obtuvo 1.5 defectos de negro parcial y Mundo Novo 1. Para el defecto agrio parcial, Mundo Novo 10 y Typica 6 defectos completos de acuerdo con el número de granos encontrados con estas características en las muestras. Los demás defectos secundarios no fueron representativos, encontrándose de 1 a 2 defectos de brocado leve y flotes. La forma del grano con mayor porcentaje fue planchuela 79.35 % para Typica y triangulo 34.54 para Mundo Novo.

Respecto al análisis sensorial el ACP determinó solo dos componentes que reúnen el 73.67 % de variabilidad, el primer componente se encontró explicado por sabor, sabor residual, acidez, y apreciación global con un porcentaje del 43 %. En el segundo componente se encontró cuerpo y balance con 26 %.

En el modelo de regresión múltiple con todas las variables introducidas como predictoras es capaz de explicar el 99.98 % de la varianza observada, de acuerdo a esto aroma/fragancia es la variable más importante, seguida de sabor, cuerpo, balance y apreciación global, es decir, que estas variables son importantes para definir la calidad total del café.

Las muestras presentaron buena calidad de acuerdo con el promedio general del puntaje total final el cual es de 80.73. Este promedio se encuentra en el rango de muy bueno y catalogado como café de especialidad 80-84.99, de acuerdo a lo establecido en los protocolos de catación de la SCAA.

Con estos resultados, se puede observar que no hubo diferencias en la calidad física y sensorial de la bebida de las variedades evaluadas bajo igualdad en condiciones de clima, suelo y nutrición balanceada. Se supone que bajo los promedios obtenidos ambas variedades tienen potencial de calidad sensorial y

pueden seguir siendo plantadas en cafetales, sin embargo, se debe tener un programa de control de roya bien establecido, para evitar pérdidas en el rendimiento. Además, tener un beneficiado más controlado para evitar defectos en el grano verde y en consecuencia en la bebida.

#### 4.7 Literatura citada

- ASERCA, Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. (2018). Café mexicano. SAGARPA. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256426/B\\_sico-Caf\\_.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256426/B_sico-Caf_.pdf)
- Avelino J., B. Barboza, J. C. Araya, C. Fonseca, F. Davrieux, B. Guyot and C. Cilas (2005) Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terroirs of Costa Rica, Orosi and Santa Maria de Dota. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85:1869–1876
- Burgos, E. R., Cano, G. A. V., & Salazar, J. C. S. (2014). Fuentes de variación que tienen efecto sobre los atributos sensoriales de taza en sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en el sur de Colombia. *Revista Sennova: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 1(1), 64-77.
- Bhumiratana, N., Adhikari, K., & Chambers IV, E. (2011). Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2185-2192.
- Cerda, J., & VILLARROEL DEL, L. U. I. S. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista chilena de pediatría*, 79(1), 54-58.
- Escamilla, P.E. (2007). Influencia de los factores ambientales, genéticos, agronómicos y sociales en la calidad del café orgánico en México. Tesis Doctoral, Colegio de Posgraduados. Veracruz, México.
- Escamilla, E., Ruiz, O., Díaz, G., Landeros, C., Platas, R., Zamarripa, C., & González, H. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. *Manejo integrado de plagas y agroecología*, 76(1), 5-16.
- Hernández, M. G. (2017), Bosques cafetaleros de Veracruz. CAFECOL. Consultado en línea en diciembre de 2017. En: <http://www.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=958e917d0d4f4ac4aaf1a55d5a0a72fd>
- Johnson, D. E. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. International Thomson editores. New Jersey.
- Kosalos, J., Stephen, R., Steven, D., Songer, P., & Alves, M. (2009). Manual de defectos. SCAA Comité técnico, Subcomite café verde.
- Lara E. L.D. (2005). Efectos de la altitud, sombra, producción y fertilización sobre la calidad del café (*Coffea arabica* L. var. Caturra) producido en sistemas agroforestales de la zona cafetalera norcentral de Nicaragua. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 297-304.
- Ledesma, R., Macbeth, G., & de Kohan, N. C. (2010). Tamaño del efecto: revisión teórica y aplicaciones con el sistema estadístico ViSta. Artículos en PDF disponibles desde 2007 hasta 2013. A partir de 2014 visítenos en [www.elsevier.es/rlp](http://www.elsevier.es/rlp), 40(3), 425-439.
- Mendizábal, M. A. L.; Samayoa, C.; & Rolz Carlos. (2013). Diferenciación del café de Guatemala por medio de la composición química dell aroma. Universidad del Valle de Guatemala. Revista 25 pp 7-18
- Marín, L.; Arcila, J.; Montoya, E. & Oliveros, C. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de bebida. *Cenicafé*, 54(4), pp. 297-315.
- Ortiz, J. E., & Moreno, E. C. (2011). ¿Se necesita la prueba t de Student para dos muestras independientes asumiendo varianzas iguales?. *Comunicaciones en estadística*, 4(2), 139-157.
- Puerta, Q G I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos* No. 352. *Cenicafé*, Chinchiná, Colombia.
- Puerta, Q. G.I (2000). Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 51:5-19.
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café, *Ciencia, Tecnología e Innovación para la Caficultura Colombiana* 414(2), 1-12.
- Ramachandran, K & Tsokos, C. (2009). *Mathematical statistics applications*. 1st Edition. Academic Press. 849 p.
- Reh, C. T., Gerber, A., Prodolliet, J., & Vuataz, G. (2006). Water content determination in green coffee—Method comparison to study specificity and accuracy. *Food Chemistry*, 96(3), 423-430.
- Regalado, O. A. (2006). ¿Qué es la calidad del café?. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Santoyo, N., Díaz, S., Escamilla, E., & Robledo, J. D. (1996). Factores agronómicos y calidad del café. Confederación mexicana y productores de café. Universidad Autónoma Chapingo P (1-7).
- Sánchez-Hernández, S., Escamilla-Prado, E., Mendoza-Briseño, M. A., & Nazario-Lezama, N. (2018). Calidad del café (*Coffea arábica* L.) en dos

sistemas agroforestales en el centro de Veracruz, México. *Agroproductividad*, 11(4).

- Steiger, D., Nagai, C., Moore, P., Morden, C., Osgood, R., & Ming, R. (2002). AFLP analysis of genetic diversity within and among *Coffea arabica* cultivars. *Theoretical and applied genetics*, 105(2-3), 209-215.
- SCAA. (2015). Specialty Coffee Association of America. Cupping protocols. In: <http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>
- SCAA. (2009). Specialty Coffee Association of America. Grading Green coffee. In: <https://www.scaa.org/PDF/resources/grading-green-coffee.pdf>
- Vaast, P., Cilas, C., Perriot, J. J., Davrieux, F., Guyot, B., & Bolano, M. (2005). Mapping of coffee quality in Nicaragua according to regions, ecological conditions and farm management. ASIC.
- Wintgens, J. N. (2004). Factor influencing the quality of Green coffee. In: J. A. Wintgens (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (Pp.789-809) Weinhein, Germany. Wiley-VHC.
- Wintgens, J. N. (2004b). Green coffee defects. In: J. A. Wintgens (Ed.), *Coffee: growing, processing, sustainable production*. (766-796). Weinhein, Germany. Wiley-VHC.